

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор Інституту ядерних досліджень
НАН України
академік НАН України
Василь СЛІСЕНКО

« 11 » _____ 2024 р.



ВИСНОВОК

Інституту ядерних досліджень НАН України
про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації
Стратілата Дмитра Петровича
на тему «Вплив радіаційних дефектів на характеристики гомоперехідних світлодіодів
(GaP; GaAsP) та гетероперехідних (InGaN/GaN)», поданої на здобуття ступеня доктора
філософії
з галузі знань 10 Природничі науки, за спеціальністю 104 Фізика та астрономія

Витяг

із протоколу № 4 засідання розширеного наукового семінару відділу фізики високих енергій
від «04» липня 2024 року

Присутні:

Голова засідання – в.о. зав. ВРФ ІАД НАН України к.т.н. І. В. Петренко, секретар семінару - к.ф.-м.н., с.н.с. (ВРФ ІАД) Є.В. Малий, заст. директора з наукової роботи ІАД НАН України д.ф.-м.н., с.н.с. В.В. Давидовський (ВТЯП ІАД), зав. ВФВЕ ІАД чл.-кор. НАН України, д.ф.-м.н., проф. В.М. Пугач, г.н.с., чл.-кор. НАН України, д.ф.-м.н., проф. В.Й. Сугаков (ВТФ ІАД), к.ф.-м.н., с.н.с. В.В. Михайловський (ВТФ ІАД), в.о. зав. ВТФ ІАД, к.ф.-м.н. І.Є. Анохін, с.н.с., к.ф.-м.н. І.Ю. Голіней (ВТФ ІАД), п.н.с., д.ф.-м.н. В.В. Рязанов (ВТФ ІАД), зав. ВРМ ІАД, с.д., к.ф.-м.н. В.М. Ревка, г.н.с., д.ф.-м.н. проф. П.Г. Литовченко (ВРФ ІАД), п.н.с., д.ф.-м.н. проф. В.П. Тартачник (ВРФ ІАД), с.н.с. М.Б. Пінковська (ВРФ ІАД), м.н.с. О.В. Шкапяк (ВРМ ІАД), інж. І-к. Е.В. Онікієнко (ВТФ ІАД).

Серед присутніх 4 доктори наук і 6 кандидатів фізико-математичних наук та докторів філософії, з них 10 – фахівців зі спеціальності, з якої виконано дисертацію.

Порядок денний:

Представлення та обговорення дисертаційного дослідження Д.П. Стратілата на тему «Вплив радіаційних дефектів на характеристики гомоперехідних світлодіодів (GaP; GaAsP) та гетероперехідних (InGaN/GaN)», поданого на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 Природничі науки, за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

Науковий керівник – д.ф.-м.н., проф., провідний науковий співробітник відділу радіаційної фізики Інституту ядерних досліджень НАН України Тартачник В.П.

Дисертацію виконано у відділі радіаційної фізики Інституту ядерних досліджень НАН України. Тема дисертації затверджена на засіданні вченої ради Інституту ядерних досліджень НАН України (протокол № 1 від 27.01.2021 року). Уточнену редакцію теми дисертаційного дослідження затверджено на засіданні вченої ради Інституту ядерних досліджень НАН України (протокол № 5 від 30.04.2024 року).

Виступили:

Голова засідання в.о. зав. ВРФ к.т.н. І. В. Петренко у своєму вступному слові проінформував присутніх про те, що аспірант Д.П. Стратілат звернувся з письмовою заявою про проведення попередньої перевірки та наукової експертизи його дисертаційної роботи, оскільки він за час свого навчання в аспірантурі ІЯД НАН України з 1 листопада 2020 р., повністю виконав освітню складову програми підготовки докторів філософії за спеціальністю 104 Фізика та астрономія, провів власне наукове дослідження та оформив свою дисертацію.

Здобувач надав увесь необхідний комплект документів, а саме: рукопис дисертації (електронну копію), копії публікацій, витяг із екзаменаційної відомості про виконання освітньо-наукової програми (освітню компоненту підготовки виконано у повному обсязі (усього 54 кредити) та успішно пройдено усі проміжні атестації наукової роботи), довідку про оригінальність дисертації (плагіату в тексті дисертації не виявлено, дисертаційна робота є оригінальною за своїм науковим змістом) та позитивний висновок наукового керівника про готовність дисертації до офіційного представлення.

Далі **здобувач Д.П. Стратілат** представив наукову доповідь за основними положеннями дисертації «Вплив радіаційних дефектів на характеристики гомоперехідних світлодіодів (GaP; GaAsP) та гетероперехідних (InGaN/GaN)», яку подано на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

Після закінчення презентації учасники засідання поставили такі запитання доповідачу:

Зав. ВФВЕ ІЯД чл.-кор. НАН України, д.ф.-м.н., проф. В.М. Пугач: 1. Ваші дослідження проводились на діодах, які використовуються в промисловості: які б ви могли дати рекомендації виробникам з точки зору радіаційної стійкості, до яких флюєнсів діоди будуть працездатними? 2. З якою точністю ви можете назвати ці величини, якого порядку становили похибки вимірювання (флюєнсів і дози), статистичні і систематичні?

Д.П. Стратілат: Наші дослідження направлені на отримання результату «доза – ефект», до прикладу, при електронному опроміненні ми досліджували один із представників світлодіодів «білого свічення» - синій діод, на основі структури InGaN з квантовими ямами. Цей вид світлодіода може використовуватися у місцях з підвищеними дозами гамма та електронного опромінення. Для виробників може бути корисна інформація про радіаційну стабілізацію цих світлодіодів, наприклад, ви можете бачити із наведеного графіку залежність інтенсивності свічення опроміненого малими дозами орієнтовний електронний флюєнс 10^{14}cm^{-2} та неопроміненого світлодіода. Інтенсивність свічення змінилася орієнтовно в 2 рази, а при збільшенні флюєнсу в 20 разів орієнтовний флюєнс 10^{15} зменшення інтенсивності свічення падає не так різко – це може свідчити про стабілізацію параметрів світлодіода. Отримані дані корисні для проєктантів приладів освітлення.

На графіках представлена характеристика зміни інтенсивності свічення спектру світлодіодів InGaN з квантовими ямами при опроміненні γ – квантами Cs^{137} дозою 4,5 МРад, де ви можете бачити їх зміну, на наступних слайдах представлені технічні характеристики: люмінесценція та квантовий вихід.

Що стосується другого питання, повернемося до видів опромінення: γ - квантами, електронами та нейтронами. Точність дози гамма-опромінення в першу чергу це похибка вимірювання самого дозиметра у місці опромінення, що сягає 10-15%, тому були застосовані термолюмінесцентні накопичуючі дозиметри. Для інших вимірювань застосовувалася іонізаційна камера (ІК) для оцінки доз від джерела Co^{60} , відповідно невизначеність виміру отриманої дози буде залежати від паспортних значень приладу, яким проводилися вимірювання.

Оцінка флюенсу електронного опромінення перераховувалась від значень електронного прискорювача, а саме струму, швидкості руху опромінюваної каретки під розтрубом прискорювача.

Оцінка флюенсу нейтронного опромінення це окрема стаття, яка лежить також в основі цієї дисертаційної роботи. Для початку потрібно було розуміти відношення швидких, епітеплових, теплових електронів - для цієї задачі була розроблена модель, а натурні досліди з використанням нейтронно-активаційних детекторів на працюючому реакторі валідували модель, розбіжність становила 10%. Дякую за запитання.

К.ф-м.н., с.н.с Є.В. Малий: Ви у своїй дисертації досліджували і гомоперехідні світлодіоди, і гетероперехідні на квантових ямах. А в чому полягає різниця та перевага?

Д.П. Стратілат: Різниця в переходах: є прямі і непрямі переходи. Наприклад, InGaN – це типові представники якраз прямих переходів, електрон рекомбінує з діркою на одній осі і випромінюється гамма-квант. Відповідно КПД цих світлодіодів високий. Якщо брати до уваги світлодіоди GaP, GaAsP, вони виконані з гомоперехідних структур з непрямыми переходами, тому вірогідність рекомбінації нижча, і електрон може бути захвачений безвипромінювальним центром з утворенням теплового фонону.

К.ф-м.н., с.н.с. В.В. Михайловский: Під час проведення опромінення скільки ви опромінювали одночасно діодів і як корелюються спектри між собою у досліджуваних зразках?

Д.П. Стратілат: Дякую за запитання. При підготовці до проведення експериментів купувалися зразки з паспортом для відповідності заявленим об'єктам дослідження. Всі зразки проходили вхідний контроль на відповідність параметрам. Відбиралися виключно зразки з малим розкидом інтенсивності свічення при однаковому струмі інжекції. Тому можна вважати, що всі об'єкти дослідження були однакові до початку дослідження.

К.ф-м.н. І.Є. Анохін: Це головна проблема всіх останніх експериментальних робіт: теоретикам важко зрозуміти, яка похибка проведених вимірювань. Віталій Валерійович спитав те саме, що і Валерій Михайлович, тобто чи за результатами опромінення є якісь похибки. Відповідно наголошу, що коли на графіках є похибки, то це викликає більше довіри до отриманих даних.

Д.П. Стратілат: Додам, що зі зменшенням похибок вимірювання я намагався боротися на всьому шляху кандидатської роботи. Наприклад, вимірювання температури – досить непроста задача, тому для покращення отримання цих даних, я просвердлював в акриловій лінзі глухий отвір, щоб розмістити термопару біля самого кристалу, діаметр отвору становив 1-1,2 мм.

Для покращення отримуваних даних із використанням спектрометра з оптоволоконним кабелем, проводилося попереднє калібрування із застосуванням еталонного джерела свічення відомих діодів при кімнатній температурі і стабільному струмі інжекції.

В.о. зав. ВРФ (ІЯД) к.т.н. І. В. Петренко: Яка різниця між досліджуваними вами світлодіодами та лазерами?

Д.П. Стратілат: Дякую за запитання. У моїй роботі я не досліджував лазери, але їх принципова відмінність від світлодіодів полягає у наявності резонатора.

К.ф-м.н., с.н.с Є.В. Малий: Як радіаційні дефекти в досліджуваних світлодіодах впливають на пробійний зворотній струм?

Д.П. Стратілат: При опроміненні у напівпровіднику накопичується велика кількість дефектів та дислокацій, що заважають електрону розігнатися у електромагнітному полі та створити «пробійний канал», тому можна сказати, що канал «засмічується» і відтак опір провідника зростає.

Д.ф.-м.н., с.н.с. В.В. Давидовський: Світлодіод це пристрій, який складається з різних частин: лінза, напівпровідник, контакти. Чи є вплив на отримані результати, враховуючи додаткові елементи, які знаходяться біля напівпровідника? Наприклад, на скло, які ви робили заходи щоб відокремити вплив іонізуючого випромінювання конструкційних елементів від самого напівпровідника?

Д.П. Стратілат: Дякую за запитання. Розглянемо по типу взаємодії іонізуючого випромінювання спочатку γ – опромінення. Так як гамма опромінення має високу проникну здатність, то впливу конструкційних елементів на опромінення немає.

Для проведення опромінення за допомогою електронного прискорювача з енергією електрона 2 МеВ, приймалися заходи для зменшення паразитного поглинання електронів лінзою, тому лінза шліфувалася і полірувалася практично до самого кристалу.

При нейтронному опроміненні отримувалися характеристики нейтронного поля. Для зменшення наведеної радіоактивності застосовувалися фільтри теплових і епітеплових нейтронів з B^{10} та Cd.

Зав. ВФВЕ ІЯД чл.-кор. НАН України, д.ф.-м.н., проф. В.М. Пугач: На мою думку питання В.В. Давидовського стосувалося насамперед люмінофору, тому ви не відповіли як сепарується ефект пливу на нього і на світлодіод.

Д.П. Стратілат: Звісно, у моїй роботі досліджується радіаційний вплив на світлодіоди з довжиною хвилі $\lambda = 470$ нм. Вони є базовими для побудови на їх основі світлодіодів «білого свічення», тому проводилось опромінення двох видів світлодіодів: з люмінофором і без, за однакових умов опромінення. Це дозволило отримати ефекти впливу люмінофора при радіаційній обробці на досліджувані характеристики.

Далі слово було надано науковому керівнику – **д.ф.-м.н., проф. Таргачнику В.П.**

Науковий керівник: Хочу додати декілька слів і ще роз'яснити попереднє питання. Стосовно впливу опромінення на периферію світлодіода, периферія це лінза і, як правило, ідеальний діелектрик – можна не враховувати. Метал радіаційно-стійкий, але є фундаментальна проблема, світлодіод – це мікрооб'єкт, і відношення об'єму до поверхні мінімальне: поверхня велика порівняно з об'ємом. Поверхня являє собою суцільний дефект, відповідно після перевищенні певної напруги починаються «струмові втрати» на поверхні. Для вирішення цієї задачі існує навіть окрема галузь під назвою – пасивація поверхні. Для пасивації поверхні і вирішення цієї проблеми застосовують опромінення допороговими пучками електронів. Поверхневі дефекти руйнуються, що призводить до зменшення поверхневих струмів, що важливо у галузях, де застосовуються світлодіоди з підвищеною напругою – оптоелектронна техніка, великі матриці екранів.

Д.ф.-м.н., с.н.с. В.В. Давидовський: Будь ласка, розкажіть про вашого аспіранта.

Д.ф.-м.н., проф. В.П. Таргачник: Дисертаційна робота Дмитра Стратілата «Вплив радіаційних дефектів на характеристики гомоперехідних (GaP; GaAsP) та гетероперехідних (InGaN/GaN) світлодіодів» ґрунтується на результатах, одержаних внаслідок дослідження електричних та спектральних характеристик вихідних і опромінених електронами з $E = 2$ МеВ інжекційних джерел свічення, вирощених на основі бінарної сполуки GaP, твердого розчину InAsP, а також розчину InGaN.

У ході виконання роботи автор приймав активну участь у розробці пристроїв для низькотемпературних вимірювань спектрів електролюмінесценції СД, планувальні та вдосконалені процесів опромінення γ – квантами Cs^{137} , Co^{60} , електронами - на електронному прискорювачі, нейтронами на дослідницькому реакторі.

Автором проаналізовано наслідки дії радіації на електричні параметри діодів обох груп.

Показано, що при опроміненні у базові кристали вводяться глибокі рівні радіаційних дефектів, які компенсують електропровідність і спричиняють зростання диференційного опору на ВАХ; досліджено термічну стабільність дефектів радіаційного походження, запропоновано модель кінетики відпалу, у СД InGaN виявлено ділянки від'ємного диференційного опору. Важливим результатом роботи, з мого погляду, можна вважати встановлення величини пошкодження часу життя носіїв у СД GaP та GaAsP електронами з $E = 2$ MeV.

Проведені дослідження впливу електронного опромінення на «білі» СД з основним джерелом випромінювання - синім СД InGaN та люмінофором – на основі ітрію-алюмінієвого гранату. Показано, що інтенсивність свічення квантової ями відповідає класичному розподілу Гауса; перевипромінювання люмінофора характеризується стоксовими втратами $\Delta E_1 = 82\%$, $\Delta E_2 = 77\%$ для двох близьких смуг люмінофора з $\lambda_{max} = 540$ нм та $\lambda = 570$ нм. Радіаційна стійкість люмінофора виявляється вищою від стійкості СД ~ в 1,6 рази.

Ділянка насичення інтенсивності свічення СД InGaN зі зростанням струму, згідно з висновком автора, може бути зумовлена ефектом балістичного перенесення носіїв над квантовою ямою.

Як видно із наведених окремих цитувань дисертації, виконана робота в цілому містить результати, котрі мають практичне і пізнавальне значення.

Аспірант Дмитро Стратілат успішно виконав поставлені перед ним задачі, продемонструвавши високу наукову кваліфікацію, фахові знання та вміння їх застосовувати, самостійність і наполегливість при виконанні завдань. Дмитро Стратілат опублікував 10 статей у фахових виданнях Scopus; 5 з них стали основою поданої до розгляду дисертації.

Індивідуальний навчальний план Стратілат Д. успішно виконав, оволодів необхідними знаннями; сформувався як самостійний дослідник, здатний ставити задачу, визначати напрямки її ефективного і швидкого розв'язання, формулювати стратегію наукового пошуку.

Відтак, вважаю, що підготовлена до захисту дисертація – наукова праця високої якості, що відповідає встановленим вимогам щодо оформлення. Підтримую її подання до захисту, вважаю, що Дмитро Стратілат заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії.

Після виступив рецензент дисертаційної роботи Пугач В.М., який наголосив на позитивних аспектах дослідження та висловили свої побажання та зауваження.

Зав. ВФВЕ ІЯД чл.-кор. НАН України, д.ф.-м.н., проф. В.М. Пугач: Дисертаційна робота «Вплив радіаційних дефектів на характеристики гомоперехідних світлодіодів (GaP; GaAsP) та гетероперехідних (InGaN/GaN) – кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису, присвячена вивченню впливу радіаційних дефектів на характеристики сучасних світлодіодів. У дисертації досліджено електрофізичні та електролюмінісентні характеристики світлодіодів в залежності від дії різних видів проникного випромінювання. Розроблено рекомендації по практичному застосуванню одержаних результатів.

Перший розділ містить ґрунтовний огляд літературних джерел за темою дисертації, який визначає роль і місце результатів, одержаних автором у розширенні і накопиченні інформації про властивості опромінених джерел світла, зокрема визначення їх радіаційної стійкості та можливість коригування їх характеристик за допомогою зовнішніх чинників.

У другому розділі висвітлено методики проведення експериментів: приготування зразків до опромінення, конструкція і принцип дії вимірювальних пристроїв, пристосування, створені автором, для здійснення опромінення електронами з енергією 2 MeV, γ -квантами радіоактивних джерел Cs^{137} та Co^{60} .

Особливим здобутком роботи можна вважати виконання автором у співпраці з колегами моделювання активної зони реактора ВВР-М, внаслідок чого одержано розподіл

щільності потоків нейтронів за енергією.

Третій розділ містить експериментальні результати з аналізу електрофізичних характеристик двох груп вихідних та опромінених гомоперехідних світлодіодів GaP та GaAsP. У діодах першого типу визначені енергії активації гасіння основних смуг електролюмінесценції і параметр пошкодження часу життя неосновних носіїв заряду при опроміненні електронним пучком. Це важливі дані для застосування світлодіодів у зоні високих радіаційних навантажень.

Детально досліджено відновлення електрофізичних параметрів опромінених діодів при ізохронному відпалі; що є також корисною інформацією розробникам електронних приладів, призначених для роботи в умовах радіаційних навантажень.

Діоди на твердих розчинах GaAsP – дешеві і ефективні джерела свічення, що виділяються серед інших випромінювачів різноманітністю застосування. Дослідження їхніх електрофізичних характеристик в залежності від радіаційних навантажень – задача безперечно актуальна.

Значна увага автора зосереджена на дослідженнях спектрів свічення світлодіодів GaAsP. Визначено ширину забороненої зони для довільного складу розчину GaAsP і коефіцієнти пошкодження часу життя неосновних носіїв заряду електронами з енергією 2 MeV. Встановлено, що порівняно із світлодіодами GaP, радіаційна стійкість діодів GaAsP значно вища. Відзначено також, що деструктивний вплив радіації на діоди GaAsP призводить до розширення спектральних ліній.

У четвертому розділі приведені результати дослідження оптичних та електрофізичних характеристик світлодіодів InGaN із квантовими ямами. Їхня квантова ефективність може сягати 80%, що значно вище за характеристики світлодіодів GaP та GaAsP. Роль дефектів у випромінювальній рекомбінації складної багаточислової структури наразі мало досліджена. Тому дослідження, виконані в цій галузі автором дисертації, важливі і актуальні. Використовуючи прецизійну апаратуру, автору вдалося одержати спектральні характеристики світлодіодів InGaN для різних складів розчину, які випромінюють у широкому інтервалі довжин хвиль від $\lambda_{\text{max}} = 405$ нм до $\lambda_{\text{max}} = 600$ нм при різних струмах інжекції ($I = 2 \div 20$ мА) в інтервалі температур 77 – 300 град. Кельвіна.

Одержані результати стосуються, як фундаментальних основ фізики твердого тіла – (профіль спектральних ліній, «голубий зсув», ефект Штарка, тунелювання носіїв, та ін.), так і прикладних аспектів (використання світлодіодів із квантовими ямами у ролі джерела збудження, визначення радіаційної стійкості, дослідження залежності квантового виходу від струму інжекції та дози опромінення).

В якості зауважень, які не нівелюють високий рівень та важливість представлених результатів, а стосуються майбутньої наукової діяльності здобувача, зверну увагу на наступне:

1. Експериментальні результати характеризують вимірною фізичною величиною та її статистичною та систематичною похибками. Визначення похибок – важливий елемент дослідження, який необхідно відображати в наукових публікаціях.
2. В дослідженнях радіаційних ефектів, спричинених різними видами опромінення (електрони, фотони, нейтрони), важливо наводити їх фізичну інтерпретацію та розділяти ефекти впливу на самі фотодіоди та люмінофор.
3. Спостережене явище виникнення режиму з від'ємним опором (тунельний діод) заслуговує на подальші дослідження, зокрема в широкій галузі його застосувань.

На завершення зазначу, що дисертаційна робота “Вплив радіаційних дефектів на характеристики гомоперехідних світлодіодів (GaP; GaAsP) та гетероперехідних (InGaN/GaN)” – самостійне високоякісне наукове дослідження здобувача, яке відповідає

спеціальності “104 Фізика та астрономія” та вимогам “Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор СТРАТІЛАТ Дмитро Петрович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії у галузі знань “10 Природничі науки” за спеціальністю “104 Фізика та астрономія”

Після виступив **рецензент** дисертаційної роботи Ревка В.М., який наголосив на позитивних аспектах дослідження та висловили свої побажання та зауваження.

Зав. ВРМ, с.д., к.ф-м.н. В.М. Ревка: Подана до захисту робота присвячена дослідженню наслідків дії проникної радіації на електрооптичні характеристики світлодіодів (СД) двох різних видів – гомоперехідних (GaP, GaAsP) та гетероперехідних (InGaN) із квантовими ямами (КЯ).

Детальний огляд літературних джерел містить інформацію про досягнення в області наукового пошуку, технологій та застосування інжекційних джерел світлення, їхньої радіаційної стійкості.

У методичному розділі описані способи опромінення γ – квантами Co^{60} , Cs^{137} та пристосування для вимірювання оптичних спектрів, розроблені автором.

Важливим результатом, використання якого необхідне при проведенні нейтронного опромінення, можна вважати попереднє одержання автором розподілу щільності потоків часток у активній зоні реактора.

Гетероперехідні СД – типовий приклад малорозмірних, енергоефективних, дешевих джерел випромінювання, які з успіхом застосовуються у мікроелектронній техніці, оптоелектронних каналах зв'язку, космічній галузі. Їхня надійність визначається стабільністю експлуатаційних параметрів. Відтак дослідження впливу зовнішніх факторів на основні їхні характеристики вольт – амперні, спектральні, релаксаційні сприяють виявленню та усуненню небажаних відхилень СД від робочого режиму, виявленню основних факторів впливу на процес експлуатаційної та радіаційної деградації.

Дисертант зробив оцінки енергії активації гасіння інтенсивності електролюмінесценції гомоперехідних СД GaP, виявив і встановив природу стадії відновлення опромінених зразків, а також визначив величину K_t – коефіцієнта пошкодження часу життя носіїв заряду для випадку опромінення СД GaP і GaAsP. Одержані результати важливі як з погляду пізнавального, так і для застосування СД на практиці.

Багато уваги у дисертації відведено дослідженню останнього покоління вискоелективних джерел InGaN/GaN із КЯ, які характеризуються широким діапазоном випромінювальних довжин хвиль – від УФ до червоного світлення, і відповідно не менш широким діапазоном їхнього застосування.

З мого погляду важливим для науковців, зайнятих дослідженням природи світлення КЯ, можна вважати результати вимірювання спектрів «білих» СД, на основі яких зроблені висновки про можливість виникнення ефекта балістичного перенесення носіїв над переповненими КЯ та про вплив ефекта Штарка на вірогідність рекомбінації електрона з діркою.

До недоліків виконаної роботи можна було б віднести недостатньо повне тлумачення природи від'ємного диференціального опору на ВАХ діодів із КЯ в останньому розділі дисертації. Сподіваємось, що повніший розгляд цього ефекту буде проведений у наступних публікаціях автора.

Вважаю, що дисертаційна робота за новизною та важливістю отриманих результатів,

за обсягом та змістом наведеного матеріалу цілком задовольняє вимоги до кандидатських дисертацій за спеціальністю “104 Фізика та астрономія” та вимоги “Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор заслуговує на присудження вченого ступеня доктора філософії за спеціальністю “104 Фізика та астрономія”

Д.ф.-м.н., с.н.с. В.В. Давидовський: Ми почули доповідь, думку наукового керівника, рецензентів: вони схвальні і рекомендують дисертацію для проходження захисту.

Я особисто хочу відмітити, що тут є всі елементи гарно проробленої роботи, є планування експерименту, підготовка експериментальних установок. Крім того, використання цих методів та видів опромінювання вимагає роботи із високоактивними джерелами, і такими складними пристроями, як ядерний реактор опромінення в каналах і т.д.

Крім того, представлена велика кількість саме експериментальної роботи вимірювань, графіків і результатів. Є наукове обґрунтування одержаних результатів, і дійсно робота актуальна, близька саме до практичних реалізацій, знайдених ефектів і проведених досліджень. Ця дисертаційна робота заслуговує подальшого просування за процедурою захисту.

Я пропоную проголосувати та надати позитивний висновок щодо наукової новизни, теоретичного і практичного значення представленої дисертаційної роботи.

Г.н.с., д.ф.-м.н. проф. П.Г. Литовченко: Я уважно заслухав наукову доповідь Дмитра і хочу відзначити цікаві та достатньо вичерпні результати дисертаційного дослідження, які він представив, особливо з технічної точки зору. Наприклад, виготовлення нейтронних фільтрів на реакторі, технології опромінення. Також відмічу деякі отримані результати роботи, наприклад, попереднє опромінення для отримання радіаційно стійкіших напівпровідників, яке з точки зору практичного застосування є дуже важливим. Тому я також підтримую подання дисертації Стратілата Дмитра до захисту і вважаю, що він заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії.

С.н.с., к.ф.-м.н., Є.В. Малий: Хочу підтримати Дмитра, його дисертаційна робота безперечно заслуговує на подальше представлення до захисту. Також хочу наголосити на його плідній праці у нашому відділі, представлені результати впливу проникного опромінення на оптичні та електрофізичні властивості напівпровідникових сполук. Тому я також підтримую подання дисертації Стратілата Дмитра до захисту і вважаю, що він заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії.

Далі **голова засідання І.В. Петренко** зробив підсумок семінару та обговорення.

В.о. зав. ВРФ, к.т.н. І. В. Петренко: В цілому ми почули досить схвальні оцінки дисертаційної роботи Стратілата Дмитра. Ця робота дійсно є актуальною, а її результати є потенційно практично значущими.

Думаю, що семінар може підсилити загальний позитивний висновок щодо наукової новизни, теоретичного та практичного значення результатів дисертації Д.П. Стратілата

Перед голосуванням прошу Д.П. Стратілата озвучити склад пропонованої разової ради.

Д.П. Стратілат: голова – **В.Й. Сугаков**, рецензенти – **В.М. Пугач** та **В.М. Ревка**, опоненти – **О.Я. Оліх** та **Ю. М. Насека**.

Зауважень чи заперечень щодо пропонованого складу разової ради не було висловлено.

Більше не було охочих взяти участь в обговоренні. Враховуючи висловлену підтримку від обох рецензентів, наукового керівника, голови та учасників засідання, голова засідання підсумував результати обговорення та аналізу дисертаційного дослідження Дмитра Стратілата, тим, щоб видати на цьому розширеному семінарі висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Д.П. Стратілата із позитивною оцінкою.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Стратілата Дмитра Петровича на тему «Вплив радіаційних дефектів на характеристики гомоперехідних світлодіодів (GaP; GaAsP) та гетероперехідних (InGaN/GaN)», поданої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 Фізика та астрономія

Обґрунтування вибору теми дослідження. Світлодіодні структури знайшли широке застосування в інформаційно-обчислювальних системах, системах відслідковування, керування, космічного зв'язку та ін. Швидкодія інформаційних каналів, чи систем спостереження залежить від досконалості структури активних елементів комунікаційних ліній, а відтак від якості оптоелектронних пар, яка визначається концентрацією глибоких рівнів у базі СД.

Накопичення даних про основні параметри рівнів дефектів, які активно впливають на час життя неосновних носіїв заряду і на електропровідність кристалів, на їхню випромінювальну здатність, квантовий вихід дозволяє розробляти способи підвищення ефективності оптоелектронних модулів, швидкодії волоконно-оптичних ліній зв'язку, надійності та експлуатаційного ресурсу навігаційного обладнання.

Опромінення дозволяє вводити у зразок дефекти потрібного виду у необхідній концентрації, застосовуючи певний вид часток та контролюючи дози. Використання радіаційних технологій з метою модифікації властивостей напівпровідникових матеріалів ґрунтується на результатах, одержаних шляхом дослідження радіаційних пошкоджень. У рамках теми дисертації вибрано і заплановано також окремий важливий для практичного застосування напрям – визначення констант радіаційної стійкості основного активного елемента оптоелектронних модулів-світлодіода.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами:

1. «Дослідження змін фізичних властивостей напівпровідників та приладів на їх основі за різної комбінації зовнішніх впливів» (№ держ. реєстрації 0116U002919, 2017-2021 рр.)
2. «Дефекти радіаційного і технологічного походження та їхній вплив на властивості напівпровідникових матеріалів і світлодіодних структур» (№ держ. реєстрації 0116U008468, 2017-2021 рр.)
3. Дослідження радіаційної стійкості і впливу радіаційних дефектів при опроміненні частинками різних видів напівпровідникових структур InGaN (№ держ. реєстрації 0121U112031, 2021-2022, науково-дослідні роботи молодих учених НАН України 2021-2022 роки)
4. «Фізичні властивості багатодолінних напівпровідників і світлодіодних структур у радіаційних, теплових і деформаційних полях» (№ держ. реєстрації 0121U110388, 2022-2026 рр.)

Мета та завдання дослідження

1. Розробити і виготовити необхідні пристосування та обладнання для проведення опромінювання електронами та γ – квантами.
2. Спроекувати і виготовити додаткове обладнання для розширення амплітудних меж вимірювання оптичних сигналів.
3. Спроекувати і виготовити методичні пристосування для низькотемпературних вимірювань спектрів випромінювання СД та ВАХ.
4. Створити банк даних спектрів всіх трьох груп діодів у електронному вигляді (вихідні і опромінені)
5. Провести детальний аналіз спектральних і електрофізичних даних з метою одержання узагальнених фізичних висновків.
6. На основі опрацьованих матеріалів досліджень сформувати цілісну картину результатів, одержаних внаслідок виконання роботи за напрямком, що відповідає темі дисертації.

Об'єкт досліджень – Гомоперехідні світлодіоди GaP, GaAsP та гетероперехідні СД InGaN із квантовими ямами.

Предмет дослідження – Електрофізичні та електролюмінісцентні характеристики СД GaP, GaAsP та InGaN. Мета і завдання дослідження вибрані відповідно до предмета та об'єкта дослідження.

Мета дослідження – з'ясування впливу опромінення електронами та γ – квантами на основні електрофізичні і електролюмінісцентні характеристики гомоперехідних СД GaP, GaAsP та гетероперехідних InGaN; встановлення закономірностей деградаційних процесів і виявлення причин, котрі їх спричиняють; одержання узагальнених висновків щодо спільності механізмів, які керують радіаційною деградацією параметрів.

Методи дослідження:

- Autodesk Autocad - створення креслень для виготовлення обладнання дослідів по опроміненню, та модернізації вимірювального обладнання;
- Geant4 – Моделювання нейтронних характеристик реактора ВВР-М;
- Дослідження ВАХ характеристик;
- аналіз спектральних характеристик;
- Дослідження відновлення електричних і оптичних характеристик у процесі ізохронного та ізотермічного відпалів.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Визначено глибини залягання рівнів, які спричиняють гасіння основних смуг електролюмінісценції СД GaP ($E_{A1} = 0,19$ eV; $E_{A2} = 0,17$ eV)
2. Виявлено, що у СД GaAsP при 300 К електропровідність забезпечується дифузійно-рекомбінаційним механізмом; при 77 К переважає рекомбінаційна компонента. Вище $\Phi = 8,2 \cdot 10^{17} \text{см}^{-2}$ коефіцієнт неідеальності зростає за рахунок участі радіаційних дефектів у рекомбінаційному процесі.
3. Виявлено, що СД GaAsP характеризуються вищою радіаційною стійкістю порівняно з СД GaP.
4. Визначено, що ширина забороненої зони твердого розчину GaAs_{1-x}P_x для $(x = 0.45)$ добре узгоджується зі співвідношенням Варшні для сполук A₃B₅.

5. Встановлено, що спектр випромінювання «білих» СД InGaN/GaN узгоджується з розподілом Гауса, що свідчить про коректність застосування класичних методів розрахунку оптичних спектрів досліджуваних зразків.
6. Опромінення електронами білих СД супроводжується послабленням екранування внутрішніх полів кристала.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Розроблена технологія та пристрої для електронного, гамма, нейтронного опромінення для дослідження радіаційної стійкості напівпровідникових структур.
2. Величини коефіцієнтів пошкодження часу життя носіїв струму можуть бути застосованими для розрахунку радіаційної стійкості СД.
3. Дозові залежності квантового виходу СД можуть бути використані при проектуванні опто-електронних модулів для застосування в умовах підвищеного радіаційного фону.
4. Результати досліджень ВАХ СД можуть бути використані при проектуванні діода, призначеного для роботи в екстремальних умовах (великі зворотні зміщення, вплив радіації).

Особистий внесок здобувача. За період виконання дисертаційної роботи здобувач зібрав експериментальний пристрій для вимірювань електролюмінесцентних характеристик СД GaAsP та InGaN. Дисертант встановив області температурної стабільності радіаційних дефектів у СД GaP, введених електронами з $E = 2$ MeV, та визначив їхні коефіцієнти пошкодження. Стратілатом Д.П. показано, що у СД GaAsP при кімнатних температурах електропровідність забезпечується дифузійного-рекомбінаційним механізмом; зниження температури до 77 К приводить до переважання рекомбінаційної складової. Радіаційні дефекти після $\Phi = 8,2 \cdot 10^{14}$ см⁻² спричиняють швидке зростання коефіцієнта неідеальності діода і основну роль при відновленні електричних параметрів СД GaAsP може відігравати дифузія вакансій фосфору.

У процесі дослідження радіаційної стійкості СД GaAsP Стратілатом Д.П. виявлено, що СД GaAsP порівняно з аналогічними структурами GaP значно стійкіші; визначені також величини електронної температури СД GaAsP.

Аналіз спектрів гібридних білих СД InGaN із КЯ показав, що залежність інтенсивності випромінювання від довжини хвилі добре узгоджується з класичним розподілом Гауса; визначено втрати на стоксове зміщення люмінофором; сповільнення інтенсивності свічення при високих рівнях інжекції зумовлене балістичними перенесенням носіїв над КЯ. Виявлено довготривалі релаксаційні процеси у СД InGaN, спричинені скупченням атомів In.

Електронне опромінення супроводжується падінням інтенсивності свічення СД внаслідок захвату носіїв струму радіаційними дефектами; послаблення екранування внутрішніх полів посилює вплив ефекта Штарка, що призводить до зменшення імовірності рекомбінації електрона з діркою

Апробація результатів дослідження.

Результати дослідження було виголошено здобувачем дисертації на таких наукових конференціях (семінарах):

1. **Dmytro Stratilat**, Roman Vernydub, Olena Kyrylenko, Oksana Konoreva, Oleksander Radkevych, Volodymyr Tartachnyk, Valentyna Shlapatska «Effect of electron irradiation on the characteristics of green LED quantum well structures» 10th jubilee international conference on radiation in various fields of research (rad 2022) spring edition.13–17.06.2022 | hunguest hotel sun resort | herceg novi | montenegro p.146. <https://doi.org/10.21175/rad.spr.abstr.book.2022.30.2>
2. **D. Stratilat**, R. Vernydub, O. Kyrylenko, O. Konoreva, O. Radkevych, Tartachnyk V. Radiation defects in GaP, GaAsP, InGaN LEDs. The Ninth International Conference on Radiation in Various Fields of Research. vol. 5. 2021. P. 84 – 89. <https://doi.org/10.21175/RadProc.2021.16>
3. **Д.П. Стратілат**, Р.М. Вернидуб, Є.В. Малий, Т.І. Мосюк, І.В. Петренко, В.П. Тартачник «Вплив проникної радіації на активні світлодіодні елементи контрольно-вимірювальних систем» Збірник тез IV міжнародної конференції «Перспективи впровадження інновацій у атомну енергетику» (30 вересня 2022 року Інститут газу України) с.10
4. **D.P. Stratilat**, R.M. Vernydub, O.I. Kyrylenko, I.V. Petrenko, O.I. Radkevych, V.P. Tartachnyk, V.V. Shlapatska, I.O. Poliakova, O.P. Budnyk. «Radiation of gallium phosphide LEDs in a state of negative differential resistance» International research and practice conference “nanotechnology and nanomaterials” (25-27 of August 2022 Lviv, Ukraine) p. 511
5. **Д.П. Стратілат**, Є. В. Малий, М. Б. Пінковська, В. П. Тартачник. «Рекомбінаційна ефективність гомоперехідних р-п-структур та гетероструктур із квантовими ямами» ХХІХ щорічна наукова конференція інституту ядерних досліджень НАН України (Київ, 26-30 вересня 2022 року) с. 142
6. **Д.П. Стратілат**, Т.І. Мосюк, Р.М. Вернидуб, О.В. Конорева, В.П. Тартачник. «Особливості електрофізичних характеристик вихідних та опромінених світлодіодів (ingan/gan) із квантовими ямами» III International scientific and practical conferece “theoretical aspects of education development” (Warsaw, Poland January 24 – 27, 2023) p. 462
7. **Д.П. Стратілат**, Є.В. Малий, О.Б. Смірнов, Р.К. Савкіна. «DLC/Cd(Zn)Te X/гамма-детектор з високопродуктивними можливостями для моніторингу навколишнього середовища» ІХ українська наукова конференція з фізики напівпровідників УНКФН–9 (Ужгород, Україна 22 - 26 травня 2023) с. 261
8. **D.P. Stratilat**, O.P. Budnyk, R.M. Vernydub, L.A Kot, O.V. Melnychenko, T.I. Mosiuk, O.I. Radkevych, V.P. Tartachnyk, H.S. Shepel. “Electrophysical properties of InGaN/GaN LEDs with quantum wells” International research and practice conference “nanotechnology and nanomaterials” (16-19 of August 2023 Bukovel, Ukraine) p. 247
9. **D.P. Stratilat**, O.P. Budnyk, R.M. Vernydub, L.A Kot, O.V. Melnychenko, T.I. Mosiuk, O.I. Radkevych, V.P. Tartachnyk, H.S. Shepel. “ Differences in emission spectra of pristine and irradiated with 2 MeV electron beam InGaN/GaNLEDs with quantum wells ” International research and practice conference “nanotechnology and nanomaterials” (16-19 of August 2023 Bukovel, Ukraine) p. 248
10. **Д. П. Стратілат**, Р. М. Вернидуб, Л. А. Кот, Ю. Б. Мирошніченко, Т. І. Мосюк, В. П. Тартачник. «Негативний диференціальний опір у світлодіодах InGaN із квантовими ямами» Щорічна наукова конференція інституту ядерних досліджень НАН України (Київ, 25-29 вересня 2023 року) с. 129

11. **Д.П. Стратілат**, Р. М. Вернидуб, П. Г. Литовченко, Т. І. Мосюк, І. В. Петренко, В. П. Тартачник. «Особливості рекомбінаційних властивостей світлодіодів із квантовими ямами» Щорічна наукова конференція інституту ядерних досліджень НАН України (Київ, 25-29 вересня 2023 року) с. 131
12. **Д.П. Стратілат**, Р. М. Вернидуб, Т. І. Мосюк, М. Б. Пінковська, О. І. Радкевич, В. П. Тартачник. «Вплив радіаційних дефектів на властивості світлодіодів InGaN/GaN із квантовими ямами» Щорічна наукова конференція інституту ядерних досліджень НАН України (Київ, 25-29 вересня 2023 року) с. 132

Публікації.

За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 17 наукових праць, 5 статей у реферованих наукових виданнях, проіндексованому в наукометричній базі даних Scopus (Q1-Q3), 6 тез/презентації доповідей на наукових конференціях в Україні, 6 тези/презентації доповідей на міжнародних конференціях. Дисертант є співавтором 4 національних звітів про виконання НДДКР.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. **Д.П. Стратілат**, Р.М.Вернидуб, О.І. Кириленко, О.В. Конорева, П.Г. Литовченко, В.П. Тартачник, М.М. Філоненко, Вплив опромінення на електрофізичні характеристики світлодіодів GaAsP. Ядерна фізика та енергетика. 22(1) (2021) 056. (Q-3, SCOPUS, EBSCO) <https://doi.org/10.15407/jnpae2021.01.056>
2. **Д. П. Стратілат**, Р. М. Вернидуб, О. І. Кириленко, О. В. Конорева, В. П. Тартачник, М. М. Філоненко, В. В. Шлапацька. Спектральні характеристики вихідних та опромінених світлодіодів GaAsP. Ядерна фізика та енергетика. 22(2) (2021) 143. (Q-3, SCOPUS, EBSCO) <https://doi.org/10.15407/jnpae2021.02.143>
3. **D. P. Stratilat**, O.G. Diakov, I.A. Maliuk, , M.V. Strilchuk, V.V. Tryshyn. Calculation of spectrum and neutron flux density in experimental channels of WWR-M reactor. Ядерна фізика та енергетика 22(3) (2021) 243. (Q-3, SCOPUS, EBSCO) <https://doi.org/10.15407/jnpae2021.03.243>
4. **D.P. Stratilat**, R.M.Vernydub, O.I.Kyrylenko, O.V.Konoreva, O.I. Radkevych, and V.P. Tartachnyk. Degradation-Reduction Features of Electrophysical Characteristics of Irradiated Gallium Phosphide Light-Emitting Diodes. ACTA PHYSICA POLONICA A. 140(2) (2021) (Q-3, SCOPUS) <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.140.141>
5. **D.P. Stratilat**, O.P. Budnyk, M.E. Chumak, V.P. Tartachnyk. Spectral features of pristine and irradiated white emitting InGaN LEDs with quantum wells. Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. 27(2) (2024) 235. (Q-3, SCOPUS) <https://doi.org/10.15407/spqeo27.02.235>

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційне дослідження складається зі вступу, сімох розділів, висновків до кожного розділу, списку використаних джерел із 96 найменувань. 78 рисунків, 5 таблиць. Загальний обсяг дисертації становить 145 сторінок, з яких основного тексту 107 сторінок.

Характеристика особистості здобувача.

Дисертант має високу кваліфікацію в галузі фізики, математики, застосуванні програмних методів, володіє декількома мовами програмування, достатньо вільно володіє англійською мовою.

Оцінка мови та стилю дисертації.

Дисертація виконана фаховою українською мовою, текстове подання матеріалу відповідає стилю науково-дослідної літератури.

Рецензенти рекомендують: відповідно до п.15 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, *пропонується такий склад разової ради:*

Голова ради:

Сугаков Володимир Йосипович, член-кореспондент НАН України, доктор фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.07 – Фізика твердого тіла), професор, головний науковий співробітник відділу теоретичної фізики ІЯД НАН України.

Рецензенти:

Пугач Валерій Михайлович, член-кореспондент НАН України, доктор фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), професор, завідувач відділу фізики високих енергій ІЯД НАН України.

Ревка Володимир Миколайович, кандидат фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.21 - радіаційна фізика і ядерна безпека), старший дослідник, завідувач відділу радіаційного матеріалознавства ІЯД НАН України.

Офіційні опоненти:

Оліх Олег Ярославович, доктор фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.07 – Фізика твердого тіла), професор, кафедра загальної фізики фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Наска Юрій Миколайович, доктор фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.07 – Фізика твердого тіла), старший дослідник, заступник завідувача відділу кінетичних явищ та поляритоники Інституту фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова НАН України.

У результаті попередньої експертизи дисертації Стратілата Дмитра Петровича і повноти публікації основних результатів дослідження

УХВАЛЕНО:

1. Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Стратілата Дмитра Петровича на тему «Вплив радіаційних дефектів на характеристики гомоперехідних світлодіодів (GaP; GaAsP) та гетероперехідних (InGaN/GaN)».

2. Констатувати, що за актуальністю, ступенем наукової новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Д.П. Стратілата відповідає спеціальності 104 Фізика та астрономія та вимогам **Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах)**, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261, пп. 6, 7, 8 **Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової**

установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

3. Рекомендувати дисертацію Д.П. Стратілата на тему «Вплив радіаційних дефектів на характеристики гомоперехідних світлодіодів (GaP; GaAsP) та гетероперехідних (InGaN/GaN)» до захисту на здобуття ступеня доктора філософії у разовій спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

4. Рекомендувати вченій раді Інституту ядерних досліджень затвердити склад разової спеціалізованої вченої ради:

Голова ради:

Сугаков Володимир Йосипович, член-кореспондент НАН України, доктор фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.07 – Фізика твердого тіла), професор, головний науковий співробітник відділу теоретичної фізики ІЯД НАН України.

Рецензенти:

Пугач Валерій Михайлович, член-кореспондент НАН України, доктор фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), професор, завідувач відділу фізики високих енергій ІЯД НАН України.

Ревка Володимир Миколайович, кандидат фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.21 - радіаційна фізика і ядерна безпека), старший дослідник, завідувач відділу радіаційного матеріалознавства ІЯД НАН України.

Офіційні опоненти:

Оліх Олег Ярославович, доктор фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.07 – Фізика твердого тіла), професор, кафедра загальної фізики фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Наска Юрій Миколайович, доктор фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.07 – Фізика твердого тіла), старший дослідник, заступник завідувача відділу кінетичних явищ та поляритоники Інституту фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова НАН України.

Результати голосування щодо рекомендації до захисту дисертації Д.П. Стратілата:

«За» – 15;

«Проти» – немає;

«Утримались» – немає.

Презентація наукової доповіді за основними результатами дисертаційного дослідження Стратілата Дмитра Петровича на 28 сторінках у додатку.

Голова семінару

в.о. зав. ВРФ ІЯД НАН України

к.т.н.

Секретар семінару

с.н.с., к.ф.-м.н.

Учений секретар

ІЯД НАН України

Петренко
Малий

Ігор ПЕТРЕНКО

Євген МАЛИЙ

Наталія ДОРОШКО

