

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Інституту надтвердих матеріалів
ім. В.М.Бакуля НАН України,
академік НАН України
В.З. Туркевич



АНОТОВАНИЙ ЗВІТ

**про виконану роботу у 2020 році в рамках реалізації проекту
із виконання наукових досліджень і розробок**

**«Розробка нових складів розчинників вуглецю для вирощування монокристалів алмазу
в області термодинамічної стабільності з контрольованим вмістом домішок азоту і бору
з метою створення концепційних конструкцій електронних приладів»**

Назва конкурсу: «Підтримка досліджень провідних та молодих учених».

Реєстраційний номер Проекту: 2020.02/0160

**Підстава для реалізації Проекту з виконання наукових досліджень і розробок
2020.02/0160 «Розробка нових складів розчинників вуглецю для вирощування монокристалів
алмазу в області термодинамічної стабільності з контрольованим вмістом домішок азоту і
бору з метою створення концепційних конструкцій електронних приладів» Рішення Наукової
ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу
«Підтримка досліджень провідних та молодих учених» протокол від «16-17» вересня 2020
року № 21.**

1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Тривалість виконання Проекту

Початок – 04.11.2020;

Закінчення – 2022 рік.

Загальна вартість Проекту, грн.

12000000 (дванадцять мільйонів гривень)

Вартість Проекту по роках, грн.:

1-й рік 2000000 грн (два мільйони гривень)

2-й рік 5000000 грн (п'ять мільйонів гривень)

3-й рік 5000000 грн (п'ять мільйонів гривень)

2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проекту буде залучено 10 виконавців, з них:

доктори наук 2;

кандидати наук 3;

інші працівники:

молодший науковий співробітник 1;

аспірант 1.

та 3 асистенти з числа молодих вчених.

3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА ТА ОРГАНІЗАЦІЮ(І) СУБВИКОНАВЦЯ(ІВ) ПРОЄКТУ

Інститут надтвердих матеріалів імені В.М. Бакуля

Організаційно-правова форма підприємства /установи/організації Державна організація (установа, заклад, підприємство)

Підпорядкованість підприємства/установи /організації Національна академія наук України

Код ЄДРПОУ 05417377

Код(и) КВЕД 72.19; 85.42

Стратегічні напрями наукової діяльності: Дослідження фізико-хімічних процесів одержання монокристалічних, дисперсних, плівкових, композитних структурованих надтвердих матеріалів у широкому діапазоні температур і тисків.

ПІБ керівника підприємства/установи/організації Туркевич Володимир Зіновійович

Юридична адреса підприємства/установи/організації 04074, Київ-74, вул. Автозаводська, 2

Поштова адреса 04074, Київ-74, вул. Автозаводська, 2

Фактична адреса 04074, Київ-74, вул. Автозаводська, 2

Телефон +38(044)4688632

Адреса електронної пошти secretar@ism.kiev.ua

Посилання на веб сторінку підприємства/установи/організації <http://www.ism.kiev.ua>

Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова НАН України (субвиконавець)

Організаційно-правова форма підприємства /установи/організації Державна організація (установа, заклад, підприємство)

Підпорядкованість підприємства/установи /організації Національна академія наук України

Код ЄДРПОУ 05416952

Код(и) КВЕД 74.90; 72.19

Стратегічні напрями наукової діяльності: Фізика напівпровідникових матеріалів і структур та їх діагностика; фізика поверхні, оптоелектроніка і фотоніка; ТГц- і ІЧ-функціональна напівпровідникова нанофотоелектроніка.

ПІБ керівника підприємства/установи/організації в.о. директора Мельник Віктор Павлович

Юридична адреса підприємства/установи/організації 03028, Україна, Київ, просп. Науки, 41

Поштова адреса 03028, Україна, Київ, просп. Науки, 41

Фактична адреса 03028, Україна, Київ, просп. Науки, 41

Телефон +38 (044) 525 40 20

Адреса електронної пошти info@isp.kiev.ua

Посилання на веб сторінку підприємства/установи/організації www.isp.kiev.ua

4. ОПИС ПРОЄКТУ

4.1. Мета Проєкту Розробити методи вирощування структурно досконалих НТНР-монокристалів алмазу заданого дефектно-домішкового складу великого розміру з використанням нових розчинників вуглецю для застосування в електронних приладах і створити засади для розробки базових основ виробництва таких кристалів. Оптимізувати конструкції та створити лабораторні зразки силових випрямляючих діодів Шотткі і підкладок тепловідводів площею 50 – 150 мм², дослідити їх робочі характеристики та вивчити взаємозв'язок з структурними властивостями матеріалу.

4.2. Основні завдання Проєкту

Науково обґрунтувати і оптимізувати склад розчинників вуглецю для вирощування монокристалів алмазу розміром до 10 – 15 мм та можливість керування рівнем входження домішок азоту та бору. Дослідити закономірності варіювання форми, габітусу і дефектно-домішкового складу різних типів алмазу. Розробити методи виготовлення зразків розміром 3–8 мм з односекторних частин кристалів. Розробити конструкції силових випрямляючих діодів Шотткі на основі односекторних пластин НРНТ- алмазів легованих бором та дослідити їх оптичні і електрофізичні властивості.

4.3. Детальний зміст Проєкту:

- Сучасний стан проблеми

У світових дослідницьких центрах розвивається ідея створення електронних приладів з активними алмазними елементами, у тому числі напівпровідниковими. Розробка концепції високотемпературних напівпровідників і прогрес в розвитку методів вирощування монокристалів алмазу дозволили впритул приблизитись до створення зразків таких елементів. Нові розчинники вуглецю для НРНТ-кристалізації відкривають перспективу їх використання для вивчення і розробки базових засад виробництва кристалів з однорідним дефектно-домішковим складом, необхідними характеристиками і стабільними властивостями для промислового застосування.

- Новизна Проєкту

Вперше будуть використані нові нетрадиційні розчинники вуглецю для отримання великих повногрaniх кристалів кубооктаедричного габітусу масою 5 – 15 карат та односекторних (100) та (111) пластин алмазу, легованих бором, розміром до 3 – 8 мм. Будуть розроблені взаємодоповнюючі неруйнівні фізичні методи скануючої оптичної і провідної (ємнісної) АСМ спектроскопії для просторового картографування дефектно-домішкового складу, деформацій та теплофізичних властивостей повногрaniх кристалів кубооктаедричного габітусу та односекторних (100) та (111) пластин НРНТ-алмазів, активних елементів алмазних приладів при прикладанні електричних полів та струмів.

- Методологія дослідження

Вирощування монокристалів алмазу в ростових системах буде проводитись методом температурного градієнта із застосуванням шестипуансонного преса CS-VII. Монокристали буде досліджено методами мікро-раманівської спектроскопії, рентгенівської дифрактометрії (XRD), електронної мікроскопії, інфрачервоної (ІЧ) Фур'є спектроскопії, фотолюмінесцентної (ФЛ) спектроскопії, мас-спектрометрії вторинних іонів (SIMS) та рентгенівської фотоелектронної спектроскопії (EDS).

5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ в поточному році/ в рамках реалізації Проєкту, зокрема:

5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проєкту (із зазначенням їх якісних та кількісних (технічних) характеристик)

В результаті аналізу даних з науково-технічної літератури розглянута концепція вирощування в області термодинамічної стабільності монокристалів алмазу типів Ib, IIa, IIb з входженням в структуру домішок азоту та бору, змінення їх концентрації на фронті кристалізації та фізичних властивостей для використання в якості активних і пасивних

елементів електронних приладів – діодів Шотткі та підкладок для стимулювання гомоепітаксії і тепловідводів, відповідно.

Розроблена ростова комірка для шестипуансонної пресової установки зусиллям 28,5 МН з об'ємом 90 – 100 см³; методи керування процесом стиснення в квазігідростатичних умовах, оптимізовано конфігурацію та розміри деталей для досягнення тисків 6,5 – 7,0 ГПа та теплоізоляції ростового об'єму для проведення процесів кристалізації алмазу на затравці методом температурного градієнта; проведено пошук нових дисперсно-композиційних матеріалів, використання яких дозволяє забезпечувати проведення процесу впродовж часу до 200 год та більше. Створено методичне забезпечення проведення циклів вирощування монокристалів різних типів з використанням одного або декількох (до 3) затравочних кристалів.

Вивчено та оптимізовано склад розчинників для проведення процесу вирощування алмазів методом температурного градієнту, розроблені алгоритми та циклограми проведення ростового процесу методом температурного градієнта для одержання монокристалів алмазу розміром 10 – 15 мм, отримано дослідні зразки монокристалів алмазу різних типів високої структурної досконалості.

Обґрунтовано фізичні принципи функціонування та конструювання діодів Шотткі та підкладок алмазних тепловідів на основі монокристалів НРНТ-алмазу – із різними секторами зростання та детермінованим дефектно-домішковим складом, робочі характеристики на основі одно секторних пластин, технологічні процедури підготовки алмазу, формування омичних контактів та бар'єрів Шотткі та видані рекомендації на послідовність операцій формування омичної контактної групи Ti/Pt/Au, що складається з пасивації поверхні алмазу у водневій плазмі при температурі 800 °С, послідовного осадження контактного шару Ti товщиною 55 нм, бар'єрного шару Pt товщиною 30-50 нм, та контактуючого шару Au товщиною 200 нм та температурного відпалі при T = 420-500 °С для формування перехідного шару TiC_x на інтерфейсі Ti/алмаз.

Одержані данні по забезпеченню умов проведення циклів вирощування структурно досконалих монокристалів алмазу в шестипуансонних пресах зусиллям 28,5 МН дозволяють вирощувати монокристали алмазу розміром 10–15 мм з можливістю формування односекторних зон росту {100}, {111}, {110} з розмірами 3 – 8 мм з використанням їх для розробки діодів Шотткі.

Проведені роботи у повній мірі важливі для практичного використання для виконання робіт по Проєкту і будуть використані для розробки активних елементів електронних приладів на основі НРНТ-алмазу.

5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами

Випуск науково-технічної продукції в 2020 році не передбачався

5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проєкту для економіки та суспільства (стосується проєктів, що передбачають проведення прикладних наукових досліджень і науково-технічних розробок)

Практична цінність отриманих результатів полягає в розробці концепції оцінки фізичних параметрів, відбору монокристалів синтетичного НРНТ-алмазу, та розробки на їх основі діодів Шотткі, епітаксійних підкладок та тепловідводів. В подальшому розроблені підходи можуть бути використані для розробки вітчизняної технології виготовлення активних елементів електронних приладів на основі НРНТ-алмазу (польових транзисторів, детекторів іонізуючого випромінювання, систем тепловідведення, тощо).

5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проєкту в суспільній практиці.

Практичні результати будуть використані для подальшого вивчення умов вирощування повнограних форм кристалів, можливості формування односекторних зон росту з розмірами 3 – 8 мм і отримання зразків з них шляхом механічної обробки; розробки нових типів пристроїв на основі отриманих напівпровідникових алмазів.

Примітка: Анотований звіт не містить відомостей, заборонених до відкритого опублікування

Науковий керівник Проєкту
Головний науковий співробітник,
чл.-кор. НАНУ, д.т.н., проф.



Івахненко С.О.