

# Високовольтні ВАХ НРНТ монокристалів алмазу

Р.Ю. Чаплинський<sup>1</sup>, Е.Є. Петросян<sup>1</sup>, Т.В. Микитюк<sup>1</sup>,  
О.Г. Лисенко<sup>2</sup>, В.І. Грушко<sup>2</sup>, В.В. Лисаковський<sup>2</sup>, Є.І. Міцкевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

<sup>2</sup> Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

## Вступ

Завдяки високій радіаційній, температурній та хімічній стійкості алмаз – перспективний матеріал для виготовлення детекторів іонізуючого випромінювання. Існують два основних методи вирощування алмазів - метод температурного градієнту в умовах високих тисків та високих температур (НРНТ) та метод хімічного осадження з газової фази. Головною відмінністю між НРНТ та CVD алмазами є морфологія – CVD алмаз росте в одному напрямку, тоді як НРНТ алмаз росте в чотирнадцяти напрямках. Низький вміст домішок, можливість отримувати зразки великої площі та відносно низька собівартість надає деяку перевагу CVD алмазам у порівнянні з НРНТ алмазами. Однак незаперечним є той факт, що в якості затравочних кристалів при виробництві CVD алмазів використовують НРНТ алмази. Тобто очевидно, що CVD технології не забезпечують високу досконалість атомарної структури кристалів, що негативно впливає на їх електрофізичні властивості. Метою роботи було експериментальне дослідження високовольтних ВАХ монокристалів алмазу, вирощених в різних ростових системах методом НРНТ та їх порівняння з ВАХ алмазів, вирощених методом CVD.

## Експериментальна установка

Для дослідження високовольтних ВАХ алмазних зразків розроблено експериментальну установку зображену на рис. 1. Корпус вимірювальної комірки розроблено на основі алюмінієвого кріостату 1, який одночасно виконує роль електричного екрану та виключає попадання світла на алмазний зразок і відповідну появу струму викликаного фотоелектом на ньому. Напряга подавалася в кріостат через високовольтні вводи 2 з струмами витоку менше 1 пА. Обидва електроди 3, 5 вимірювальної комірки електрично роз'єднані з корпусом кріостату втулкою з політетрафторетилену (ФР-4) 4 товщиною не менше 10 мм, яка забезпечує струми менше 1 пА при напрузі до 2500 В. Внутрішня частина кріостату також вкрита шаром ФР-4 товщиною 0,5 мм. Досліджуваний зразок фіксувався за допомогою пружного електроду 5. В якості амперметра А використовувався пікоамперметр Keithley 460, в якості джерела високовольтної напруги ВН з вбудованим вольтметром V використовувався сцинтиляційний блок ORTEC 925 scint. Струм обмежувався резистором 1 МОм ввімкненим послідовно з вимірювальною коміркою, розташований в середині кріостатного блоку. Похибка вимірювання напруги складала < 10 В, а струму < 1 пА.

Алмазні зразки були виготовлені методом НРНТ за технологією ІНМ [1]. Перед вимірюваннями зразки були відшліфовані та хімічно очищені. Розмір зразків складав 4×4×0.5 мм.

## Обговорення

На рис. 2, зображено отримані ВАХ алмазів, вирощених в ростових системах Fe-Ni-C, Fe-Al-C та Fe-Co-C. На ВАХ видно підвищені струми в алмазів системи Fe-Ni-C, Fe-Al-C порівняно з алмазом з системи Fe-Co-C. Темновий струм вище 1 нА є основною причиною значного шуму в вимірювальному тракті детектора і тим самим робить неможливим пряме використання такого матеріалу в якості детекторів іонізуючого випромінювання. З ВАХ видно, що такі струми демонструють алмази з ростових систем Fe-Co-C та Fe-Al-C, тобто вони не придатні для прямого використання в якості детекторів іонізуючого випромінювання. Проте при формуванні на поверхні алмазів діючої структури електродів можливість їх використання в якості детекторів слід досліджувати окремо.

З іншого боку алмази з ростової системи Fe-Co-C демонструють вкрай хороші темнові струми на рівні не більше  $2 \cdot 10^{-11}$  А у всьому діапазоні напруги до 2200 В. Це і також плавний хід ВАХ алмазів з ростової системи Fe-Ni-C. Робить їх найбільш придатними для прямого використання в якості детекторів іонізуючого випромінювання. Також слід відмітити відсутність пробоїв і значного підвищення струмів на приведених ВАХ до напруги 2200 В, в той час як комерційні алмази виготовлені за технологією CVD демонструють гірші абсолютні значення струму та значно вищі швидкості росту струмів з підвищенням напруги [2], що негативно впливає на шуми детекторів на їх основі.

## Висновки

В результаті роботи розроблено установку та методику експрес дослідження високовольтних ВАХ алмазних зразків. Шляхом порівняння ВАХ CVD алмазів [2] та алмазів вирощених методом НРНТ показано, що останні забезпечують кращі електричні характеристики. Встановлено, що завдяки низькому рівню темнових струмів, НРНТ алмази вирощені в ростовій системі Fe-Ni-C є найбільш придатними для застосування в електроніці і зокрема для виготовлення детекторів іонізуючого випромінювання.

В подальшому планується дослідити методи формування електродних структур на поверхні алмазних підкладок та відгуку алмазних пластин на іонізуюче випромінювання.

## Література

1. Выращивание крупных монокристаллов алмаза в области термодинамической стабильности / С.А. Ивахненко, Н. В. Новиков // Сверхтвердые материалы. Получение и применение: монография в 6 т. — Киев : ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2003. — Т.1: Синтез алмаза и подобных материалов. — Гл. 6. — С. 179—198.
2. Design, fabrication and testing of CVD diamond detectors with high performance / Jiawei Liu, Jiafeng Chang, Jizong Zhang, Guoqiang Zhong, Xionghui Liu, Xiankai Pang, and Junji Jia // AIP Advances. — Vol. 9. — 2019.

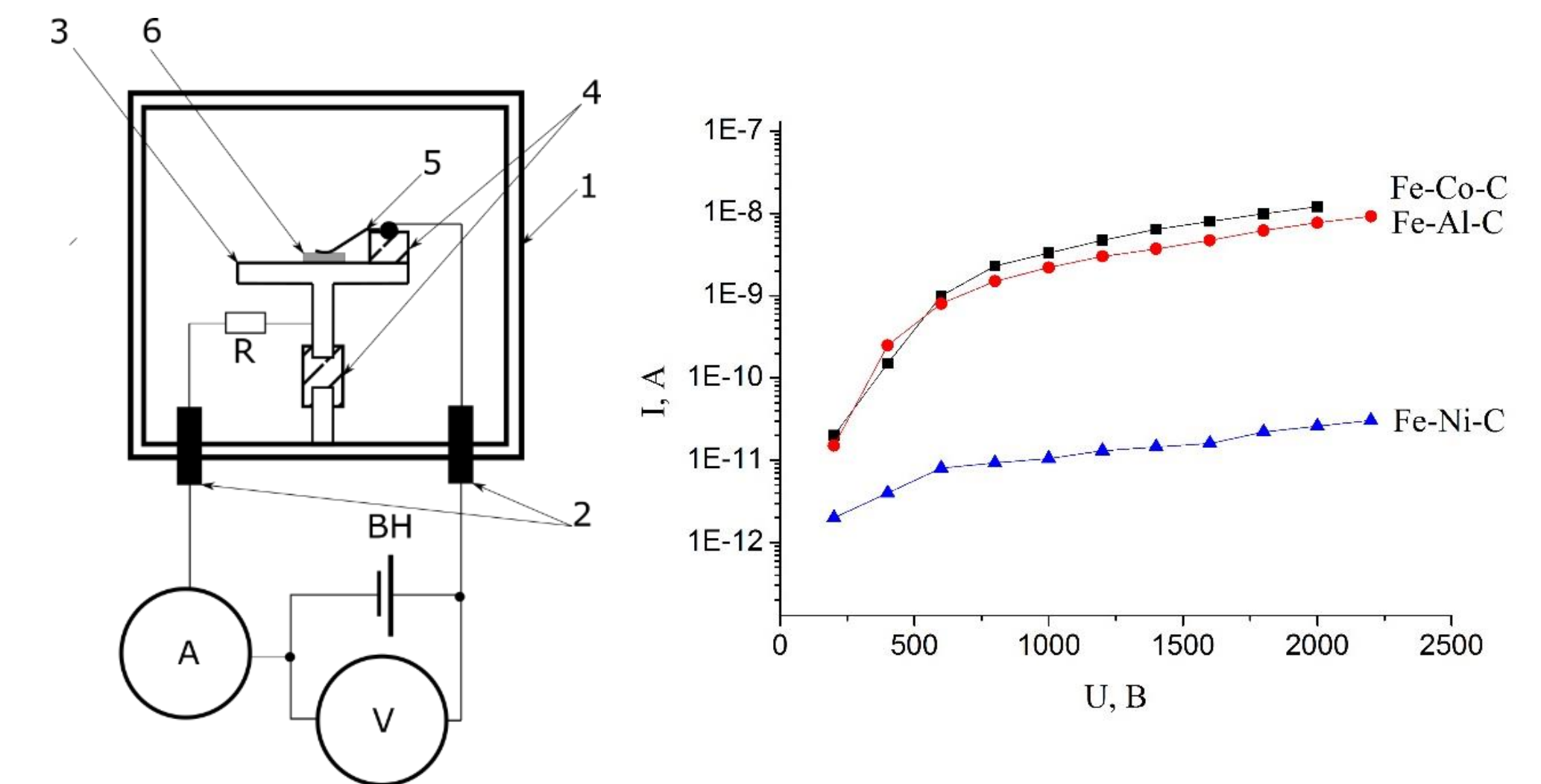


Рис. 1. Схематичне зображення експериментальної установки

Рис. 2. а – ВАХ НРНТ алмазних пластин ростових систем Fe-Ni-C, Fe-Al-C та Fe-Co-C

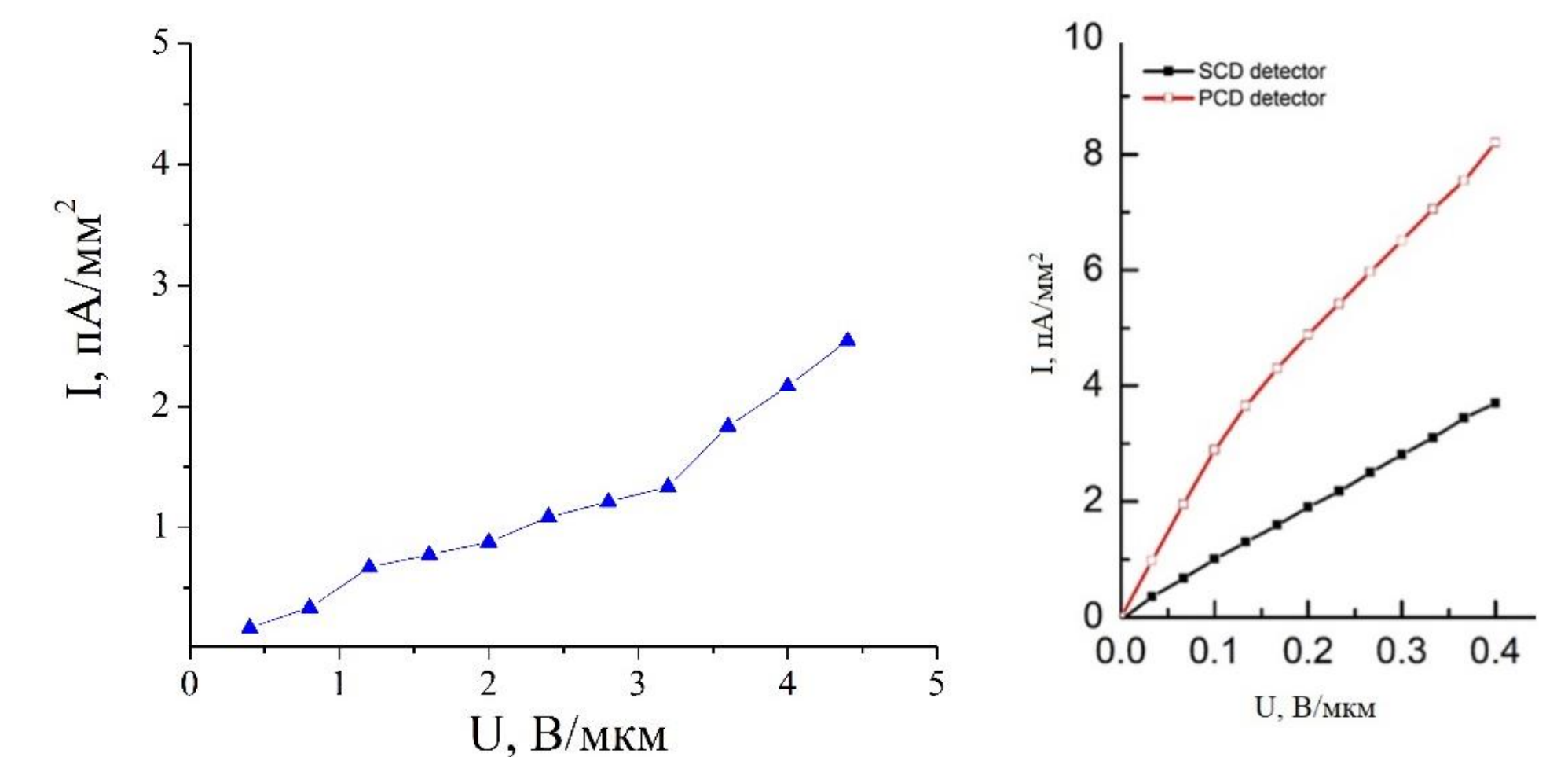


Рис. 3. Порівняння ВАХ НРНТ та CVD алмазів. а – ВАХ алмазних пластин ростових систем Fe-Ni-C, б – ВАХ монокристалічного CVD алмазного зразка (SCD розмірами 3мм×3мм×0.3мм), полікристалічного CVD алмазного зразка (PCD розмірами 5мм×5мм×0.3мм) [2]