



**ВЕНГЕР**

**Свген Федорович** – член-кореспондент НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу напівпровідникових гетероструктур Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

## **ПРО РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОНАННЯ ДЕРЖАВНОЇ ЦІЛЬОВОЇ НАУКОВО- ТЕХНІЧНОЇ ПРОГРАМИ РОЗРОБЛЕННЯ І СТВОРЕННЯ СЕНСОРНИХ НАУКОЄМНИХ ПРОДУКТІВ НА 2008 – 2017 роки**

**Стенограма наукової доповіді на засіданні  
Президії НАН України 22 листопада 2017 року**

*У доповіді проаналізовано результати виконання Державної цільової науково-технічної програми розроблення і створення сенсорних наукоємних продуктів на 2008–2017 роки, наведено приклади створених у рамках цієї міждисциплінарної програми інноваційних технологій та наукоємної продукції – різноманітних сенсорів, датчиків, приладів та систем на їх основі.*

Шановні члени Президії!

Шановні присутні!

За період виконання Програми (2008–2017 рр.) було отримано вагомі результати зі створення різноманітних наукоємних технологій та одержання сучасних багатофункціональних матеріалів і структур, сенсорних технологій для електронних приладів, інформаційних комплексів і систем керування, енерго- та ресурсоощадних сенсорних систем, біомультисенсорних багатофункціональних інформаційних систем та систем атестації і метрології сенсорних продуктів.

За результатами досліджень було отримано 152 патенти України; опубліковано 17 монографій, 575 статей у фахових виданнях, у тому числі – 276 статей у провідних зарубіжних журналах; створено 49 розробок високого науково-технічного рівня; впроваджено у виробництво 11 новітніх технологій.

Наведу лише окремі приклади основних наукових та науково-технічних результатів, отриманих під час виконання Програми.

***Новітня технологія виробництва оптичного германію.***

Уперше у світовій практиці було створено і впроваджено у



**Рис. 1.** Пластина оптичного германію (а) та виготовлене з неї вхідне вікно (б) для інфрачервоної техніки

власне виробництво новітню технологію виготовлення об'ємних кристалів оптичного германію, легованого натрієм. Ця оригінальна самоконтрольована технологія вирощування кристалів цього матеріалу має істотні технічні та економічні переваги перед найкращими світовими аналогами і дозволяє одержувати оптичний германій зі значно кращими оптичними параметрами, зокрема з низькою величиною розсіювання ІЧ-випромінювання, високим ступенем однорідності оптичних параметрів по об'єму кристалів тощо.

Основні технічні характеристики матеріалу такі: форма і розміри — циліндричні зливки діаметром до 250 мм, зливки у формі прямокутного паралелепіпеда розміром до  $160 \times 160 \times 60$  мм<sup>3</sup>; величина розсіювання випромінювання з довжиною хвилі 10,6 мкм і коефіцієнт поглинання — не більш як  $0,02 \text{ см}^{-1}$  та 1,5% відповідно; оптичне пропускання в області 2–10 мкм — не менше ніж 46% для зливки завтовшки 5 мм.

Пластини оптичного германію, об'ємно легованого натрієм, використовують на Казенному підприємстві спеціального приладобудування «Арсенал» (Київ) та Державному підприємстві «Науково-виробничий комплекс «Фотоприлад» (Черкаси) для виготовлення оптичних систем спеціальної інфрачервоної техніки нового покоління (рис. 1).

**Мікросенсори для статичного і динамічного вимірювання температури.** Розроблені мікросенсори температури, магнітного поля та багатофункціональні сенсори, призначені для роботи в екстремальних умовах, зокрема при ядерних і радіаційних аваріях, — за низьких і наднизьких температур, під дією іонізуючого випромінювання різних видів та потужних магнітних і електромагнітних полів. Такі напівпровідникові мікросенсори можуть застосовуватися у надпровідних прискорювачах елементарних частинок, у ядерній і термоядерній енергетиці, ракетній та космічній техніці, кріогенній техніці, кріомедицині, у науковому лабораторному обладнанні для вимірювання швидкоплинних теплових процесів з високим просторовим розділенням і малою інерційністю.

Основними перевагами створених сенсорів температури порівняно з відомими аналогами є широкий діапазон робочих температур (від 0,02 до 500 К), за яких можна проводити статичні і динамічні вимірювання; монотонна термометрична характеристика в усьому діапазоні робочих температур; висока чутливість і точність вимірювання; мікрогабаритні розміри і мала інерційність; висока радіаційна стійкість; малі похибки вимірювання температури в умовах дії сильних магнітних полів.

У серійному виробництві цих мікросенсорів зацікавлене Державне підприємство «Науково-дослідний інститут «Оріон» (Київ).

**Інтегральна кремнієва технологія виготовлення мініатюрних прецизійних перетворювачів електромеханічних параметрів (тиску, витрат, прискорення).** Ці перетворювачі використовуються у контрольно-вимірювальних приладах для моніторингу виробничих процесів в енергетиці, нафтогазовому комплексі, хімічній та харчовій галузях, автомобілебудуванні, в авіа- і ракетно-космічній техніці.

Експериментальні зразки інтегральних перетворювачів диференціального тиску вже передано ДП «Завод Арсенал» (Київ) для випробувань з тим, щоб на їх основі налагодити виробництво побутових приладів обліку витрат природного газу. Інтегральні перетво-

рювачі абсолютного тиску зараз проходять порівняльні випробування в компанії TRL Microwave Technology Inc. (Канада) з перспективою розроблення на їх основі приладів дистанційного контролю тиску у шинах автомобіля. Експериментальні зразки перетворювачів тиску передано також НВФ «Рост» (Київ) і ДП «Телеком-Пневматик» (Київ). Розроблено перетворювачі тиску, призначені для вимірювання ударно-хвильових змін тиску газів амплітудою до 800 атм у газодинамічних випробуваннях ракетно-космічної техніки (рис. 3).

**Діагностичні прилади серії «Плазмон».** Створено низку спектрометрів серії «Плазмон» для застосування в медицині, ветеринарії, біотехнологіях, харчовій промисловості, для екологічного моніторингу і митного контролю. Так, в Інституті нейрохірургії ім. А.П. Ромоданова НАМН України розробляється метод профілактики рецидивів гліом у хворих з гліобластомами, а також проходить клінічну перевірку методика діагностування якості проведення операцій з хірургічного видалення злоякісних пухлин головного мозку (рис. 4).

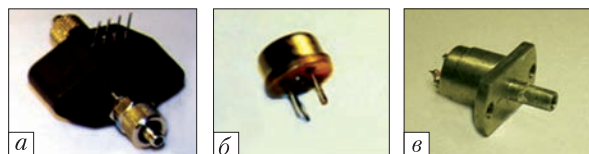
Спільно з установами НАН України (Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р.Є. Кавецького, Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного, Інститут молекулярної біології і генетики, Інститут біохімії ім. О.В. Палладіна) проводяться дослідження з відпрацювання новітньої експрес-діагностики пацієнтів на початкових стадіях захворювань на тромбоемболію, інфаркт, тромбоемболію.

Розроблено новітній метод виявлення захворювань на лейкоз у великої рогатої худоби, який дозволяє значно скоротити час діагностування. Новітня аналітична система високоточної експрес-діагностики для проведення у ветеринарних лабораторіях діагностування і моніторингу поширення найнебезпечніших вірусних хвороб великої рогатої худоби та птиці відповідає рівню найкращих світових зразків.

**Оптоелектронний газоаналізатор.** Розроблений прилад призначений для детектування і аналізу газових сумішей у навколишньому середовищі, на промислових об'єктах, у про-



**Рис. 2.** Напівпровідникові мікросенсори для статичного і динамічного вимірювання температури в екстремальних умовах



**Рис. 3.** Мініатюрні прецизійні перетворювачі тиску: *a* — для обліку витрат природного газу; *б* — для дистанційного контролю тиску в автомобільних шинах; *в* — для газодинамічних випробувань ракетно-космічної техніки



**Рис. 4.** Спектрометр загального призначення «Плазмон-6», базова модель

бах повітря та в медицині (рис. 5). Принцип його дії заснований на реєстрації зміни кольору тонкої інтерференційно забарвленої плівки (зазвичай органічної) на відбивній підкладці. Забарвлення змінюється при взаємодії з молекулами зовнішнього середовища внаслідок



Рис. 5. Багатоелементний колориметричний аналізатор з круговим світлодіодним джерелом світла



Рис. 6. Портативний вимірювальний перетворювач ІСПТ-3

зміни показника заломлення і товщини плівки. Як чутливі шари використовуються тонкі плівки трет-бутилкаліксаренів 3, 4, 5, 6-го та 8-го типів. Випробування експериментальних зразків течошукача аміаку було проведено на Северодонецькому об'єднанні «Азот».

**Біохімічний аналізатор.** Прилади цієї серії призначені для визначення токсичності й детектування основних класів шкідливих домішок (органічних пестицидів, іонів важких металів, поверхнево-активних речовин). Принцип їх дії заснований на використанні

мікроелектронних потенціометричних сенсорних елементів на іоноселективних польових транзисторах з рН-чутливим шаром нітриду кремнію на кремнієвій підкладці. Реєстрація хімічних сполук здійснюється за допомогою спеціальних ензимних мембран з іммобілізованими біочутливими реагентами (ензимами), нанесеними на затворні поверхні польових транзисторів.

Серед галузей застосування таких аналізаторів слід відзначити екологічний моніторинг (для селективного визначення токсичних речовин, таких як формальдегід, хлор- і фосфор-органічні пестициди, карбаматні гербіциди, іони важких металів); контроль якості продуктів харчування (для визначення природних шкідливих речовин у харчах); діагностика в медицині (для експрес-визначення основних метаболітів людини (глюкози, сечовини, креатиніну) у таких біологічних рідинах, як кров, сироватка чи плазма крові, сеча).

Серію приладів ІСПТ різних модифікацій впроваджено в Інституті молекулярної біології і генетики НАН України (рис. 6).

#### **Аналізатор водно-спиртових розчинів.**

Прилад призначений для визначення загального вмісту солей і вологи у спиртових розчинах та органічних розчинниках і для встановлення чистоти речовин (вуглеводнів, нафтопродуктів тощо). Аналізатор працює за принципом імпедансного спектрометра і автоматично виконує вимірювання повного імпедансу і фазового зсуву водно-спиртових розчинів у діапазоні частот від 0,5 Гц до 150 кГц. Отримані за допомогою цифрової фільтрації (дискретного перетворення Фур'є) значення активної та реактивної складових електрохімічної комірки з досліджуваним розчином аналізуються і використовуються для розрахунку характеристик розчинів, а також для ідентифікації марки водно-спиртових напоїв (рис. 7). Користувачами цих приладів можуть бути підприємства з виробництва горілчаних виробів, служби санітарного контролю та митниці.

Випробування приладу проведено в Інституті спирту і біотехнології продовольчих продуктів (УкрНДІспиртбіопрод) УААН для

визначення якості (відповідності маркам), жорсткості (загального вмісту солей) та процентного вмісту компонент у водно-спиртових розчинах.

**Оптична та електронна діагностична апаратура у складі лазерного гетеродинамічного вимірювача нанопереміщень та пристроїв контролю імпульсів збудження, що проходять по нервах.** Ця апаратура використовується при розробленні на кафедрі гістології Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця новітньої нейрохірургічної методики реставрації уражених нервів (аксонів) у людей і тварин шляхом їх швидкого і якісного зрощування в клінічних умовах з використанням нанокристалів кремнію.

**Мобільна сонячна фотоелектрична станція.** Ця мобільна станція потужністю 10–40 Вт призначена для живлення і зарядки малопотужної апаратури в екстремальних польових умовах. У її конструкції використано нові типи високоефективних фотосенсорів і фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії з ККД до 15–20% на основі кремнієвих фоточутливих структур. Понад 30 екземплярів мобільного пристрою живлення (рис. 8) було передано в зону АТО; отримано позитивні відгуки користувачів.

**Система моніторингу парникових газів в атмосфері.** Система призначена для експресного визначення домішок в атмосфері, проведення аналізу спостережень наявності озону  $O_3$  та основних парникових газів —  $N_2O$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  тощо з метою контролю їх розподілу. Система використовується на регіональній станції Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) № 498 KGV Kyiv-Goloseyev, яка розміщена на території Головної астрономічної обсерваторії НАН України і призначена для вимірювання вмісту озону над Києвом та отримання даних щодо детального розподілу озону за висотою. Дані про вміст озону над Києвом надсилаються раз на 3 місяці до Світового центру озонових даних (WMO-WO3DC) Всесвітньої метеорологічної організації в Торонто (Канада).

**Інтегрований прилад радіаційного контролю.** Цей багатофункціональний широкоді-



Рис. 7. Портативний вимірювач розчинів ІМ-1



Рис. 8. Мобільна сонячна фотоелектрична станція

апазонний дозиметр-радіометр з набором зовнішніх детекторів призначений для експресного достовірного дозиметричного контролю  $\gamma$ - і  $\beta$ -іонізуючого випромінювання в широкому динамічному діапазоні в різних умовах експлуатації, зокрема й в екстремальних польових умовах. На відміну від відомих аналогів, прилад виконує принципово нову функцію — безперервний пошук та реєстрацію нестатистичних флуктуацій іонізуючого випромінювання, що дозволяє значно підвищити достовірність і швидкість вимірювання джерел малої інтенсивності.

Прилад пройшов процедуру калібрування і комплексні метрологічні випробування на провідному підприємстві в галузі радіаційного приладобудування НВП «Атомкомплекс-прилад» (Київ) і застосовується в НВК КРАС



**Рис. 9.** Основний індикаторний блок багатofункціонального широкодiапазонного дозиметра-радіометра



**Рис. 10.** Метрологічна установка для високоточного градування та повірки сенсорів температури з рекордною точністю градування

(м. Вишневе, Київська обл.) при випробуваннях стаціонарних і мобільних рентгенівських медичних комплексів (рис. 9).

**Метрологічна установка для високоточного градування та повірки сенсорів температури з рекордною точністю градування.** Установка працює в діапазоні 1,8–320 К, при цьому досягнуто абсолютної похибки градування менш як 0,005 К (рис. 10).

**Мобільна тепловізійна система для спостереження і контролю теплових полів у**

**термографічних медичних дослідженнях.**

Система використовується в Українському центрі спортивної медицини МОЗ України (комплексний метод неінвазивної експрес-діагностики функціонального стану людей, що проходять спортивні тренування), Київському міському клінічному ендокринологічному центрі (захворювання молочних залоз), Національному інституті раку (новоутворення), Національному інституті серцево-судинної хірургії ім. М.М. Амосова (метод неінвазивної експрес-діагностики стану судинної системи людини). Розробку було відзначено Премією Кабінету Міністрів України в 2016 р.

Продовження досліджень та робіт з використання створених у рамках Програми розробок дозволить перейти від дослідних технологій та дослідних зразків до створення приладів і систем для серійного виробництва. Їх широке впровадження на вітчизняних підприємствах, в закладах охорони здоров'я та академічних установах має важливе значення для інноваційного розвитку економіки України.

Продовження робіт пропонується в рамках Цільової програми наукових досліджень НАН України «Напівпровідникові матеріали, технології і датчики для технічних систем діагностики, контролю та управління».

Основні очікувані результати виконання програми:

- сучасні нанокристалічні матеріали з низьким коефіцієнтом термічного розширення для виробництва радіопрозорих деталей спеціальної техніки та оптичних систем;
- неохолоджувані тепловізори загального і спеціального призначення з матричними термочутливими сенсорами для дистанційного контролю розподілу температурних полів на різних об'єктах у режимі реального часу з високою точністю;
- прецизійні контролери-реєстратори зміни абсолютного і диференційного тисків у газодинамічних системах ракетно-космічної техніки та інтегральні прилади для контролю ударно-хвильових процесів у системах дослідження і сертифікації вибухових речовин;

- сучасні промислові технології серійного виробництва напівпровідникових датчиків для статичного і динамічного вимірювання низьких і наднизьких температур, широкодіапазонні датчики магнітного поля та інтегровані багатофункціональні датчики для обладнання спеціального призначення, резисторні та діодні мікросенсори вимірювання локального та просторового розподілу температури для застосування в криогенній техніці, магнітно-резонансній томографії та в ракетно-космічній галузі;

- технологія виробництва високоефективних інфрачервоних плоских скляних обігрівачів з тонкоплівковими нагрівальними елементами на основі окисних напівпровідникових матеріалів для забезпечення якісного сучасного обігріву житлових і виробничих приміщень;

- високочутливий портативний аналізатор плазми крові для експрес-діагностики на початкових стадіях захворювань на тромбоемболію, інсульт, інфаркт і тромбоемболію;

- перспективні стаціонарні та портативні системи для застосування у військових шпиталях та в польових умовах для оперативної діагностики небезпечних інфекційних захворювань і експрес-аналізу якості питної води;

- автоматизований комплекс експрес-діагностики та моніторингу лікування хворих зі

зляжисними гліомами головного мозку в післяопераційному періоді з метою профілактики рецидивів пухлин;

- сучасне контрольно-перевірочне устаткування для проведення прийнятно-здавальних випробувань сонячних фотоелектричних модулів на серійних виробництвах, що дозволить суттєво зменшити витрати на проведення поточних випробувань серійної продукції;

- нові типи світловипромінювальних приладів на основі гібридних наноструктур (з люмінофором на базі квантових точок CdTe) для використання в сучасних фотокалориметричних системах селекції найбільш урожайних сортів зерна та підвищення їх схожості;

- мобільні інтегровані прилади оперативного радіаційного моніторингу навколишнього середовища в штатних і аварійних ситуаціях та компактні прилади експрес-контролю на радіаційне забруднення продуктів харчування, кормів тощо;

- новітні системи діагностики, контролю якості та сертифікації для вітчизняного серійного виробництва енергоощадних приладів на основі сучасних твердотільних джерел світла.

Дякую за увагу!

*За матеріалами засідання підготувала О.О. МЕЛЕЖИК*

*E.F. Venger*

Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics  
of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv)

ABOUT THE RESULTS OF THE IMPLEMENTATION OF THE STATE TARGET  
SCIENTIFIC AND TECHNICAL PROGRAM FOR THE DEVELOPMENT  
AND CREATION OF SENSORY SCIENCE-INTENSIVE PRODUCTS FOR 2008-2017

Transcript of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, November 22, 2017

The report analyzes the results of the implementation of the State Target Scientific and Technical Program for the Development and Creation of Sensory Science-Intensive Products for 2008-2017. Examples are given of innovative technologies and science-intensive products - various sensors, devices and systems on their basis which are created within this interdisciplinary program.