

*До 110 річчя з дня народження В.Є. Лашкарьова*

В.Г. Литовченко

## **Мої наукові контакти з В.Є. Лашкарьовим-першовідкривачем р-п переходу**

*Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України  
e-mail: [lvlg@isp.kiev.ua](mailto:lvlg@isp.kiev.ua)*



**Академік АН УРСР  
В.Є. Лашкарьов**

В.Є. Лашкарьов (1903 – 1973 р.р.) – видатний учений України ХХ століття в галузі фізики напівпровідників та їх прикладних проблем. Основні результати отримані в галузі досліджень поверхні методом дифракції повільних електронів, фотоелектричних властивостей об'єму та поверхні напівпровідників, з вивчення в них термоелектричних ефектів. Використовуючи явище термоелектрорушійної сили на точковому контакті метал-напівпровідник (CuO) . відкрив бар'єрну структуру р-п перехід і дав фізично правильне пояснення її унікальних випростуючих властивостей (публікація в Известиях АН СССР ,с.Фіз.5 , № 4-5 , сс. 442-446. 1941рік). Згодом (1947 р.) саме така структура з двох суміжних точкових контактів- зондів з напівпровідником (Ge) була використана для відкриття транзисторного ефекта (1947 р., Бардин, Бреттен, Шріфер , нагороджені за це Нобелівською премією).

Структури з р-п переходом є до цього часу базовими для електронного приладобудування.

V.E. Lashkarev (1903-1973) – famous scientist of Ukraine in semiconductor physics and application of it. The main achievements were obtained on the first researches of the surface by LEED( low-energy electron diffraction ) , the photoelectric properties of the bulk and surface of semiconductors , study of the semiconductor surface thermoelectric effects. Last , in particular, lead to discovery of the world level result: observation of the p-n junction on base of hetero structure Cu-Cu<sub>2</sub>O-CuO (published . in Izv.Acad. Sci.USSR ,s.5,#4-5, hh.442-446, 1941). Structure with p-n junction till now is the base for electron device industry.

**Ключові слова:** напівпровідники, п-п-перехід, германій, легування.

*Стаття поступила до редакції 10.06.2014; прийнята до друку 15.06.2014.*



*Чл.-кор. НАН України, проф. В.Г. Литовченко*

Володимир Григорович Литовченко є відомим вченим в галузі фізики напівпровідників та фізики твердого тіла, лауреат Державних премій України та УРСР в галузі науки і техніки та Премії імені К.Д. Синьникова, Кавалер ордена “За заслуги” III ступеня, член-кореспондент НАН України професор.

Народився 24 грудня 1931 року в с. Рожни Київської області. Закінчив з відзнакою радіофізичний факультет Київського державного університету ім. Т.Шевченка (1955), розпочав працювати в Інституті фізики АН УРСР. З часу створення Інституту напівпровідників АН УРСР (1960) працює в цьому Інституті (нині — Інститут фізики напівпровідників ім. В. С. Лашкарьова НАН України). Пройшов шлях від молодшого наукового співробітника до керівника відділу і відділення фізики поверхні та мікроелектроніки. Кандидат наук (1961), доктор наук (1971), професор (1974), а в 1985 р. – обрано член-кореспондентом НАН України.

В.Г.Литовченку належить ряд фундаментальних фізичних результатів. Ним вперше експериментально виявлено ряд нових ефектів, таких, як поверхнева люмінесценція в напівпровідниках (1974), підсилене планарне розширення нерівноважної двовимірної електронно-діркової плазми (1983), підпорогове стимульоване випромінювання у двовимірних квантоворозмірних гетероструктурах (1996), розщеплення зон у матеріалах з нульовою забороненою зоною при зв’язуванні точкових дефектів та ін.

Останніми роками у дослідженнях В.Г.Литовченка важливе місце займають оптичні та електричні явища в алмазоподібних вуглецевих плівках. Розробка теоретичних фізичних моделей матеріалів на основі вуглецю дозволяє прогнозувати властивості нових перспективних матеріалів, зокрема твердіших за алмаз. Застосування алмазоподібних вуглецевих плівок дає змогу значно підвищити електронну польову емісію з напівпровідникових матеріалів. Цю наукову роботу Володимир Григорович проводить в активному співробітництві із зарубіжними колегами з США, Німеччини та Франції.

Науковий доробок Володимира Григоровича вражає не лише обсягом виконаних досліджень та наукових праць (11 монографій, 18 оглядів та брошур, понад 400 статей у провідних наукових журналах), але насамперед значущістю й глибиною одержаних результатів.

Проте не тільки наукові дослідження і розробки знаходяться у сфері постійного інтересу й уваги В.Г.Литовченка, він проводить також активну просвітницьку діяльність на ниві пропагування величних надбань української історії і культури, працюючи головою осередку товариства “Просвіта” ім. Т.Г.Шевченка.

Володимир Григорович – добрий порадник і наставник фізиків Прикарпаття! Під безпосередньою його опікою функціонує крайове відділення Українського фізичного товариства, він активний член редакційної колегії журналу “Фізика і хімія твердого тіла” що заснований і видається на Прикарпатті, створює високий імідж міжнародним науковим конференціям з фізики і технології тонких плівок і наносистем (МКФТТПН), є постійним їх учасником, опонує кандидатські і докторські дисертації прикарпатців.

## I. Вступ, персональні враження

З академіком Вадимом Євгеновичем Лашкар'ювим, видатним фізиком ХХ століття, я вперше познайомився в 1953 році, коли він читав спецкурс з фізики та електроніки напівпровідників

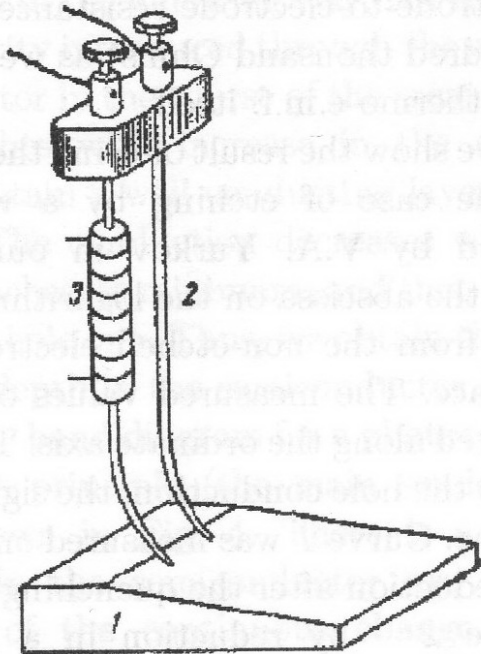


Рис. 1. Експериментальний зразок мідно-оксидного фотоелементу (1) з термозондом (2) та нагрівником (3) [15].

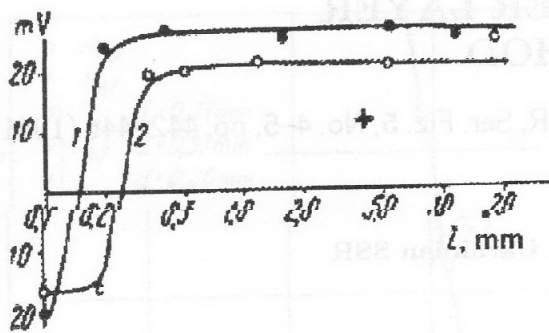


Рис. 2. Зміна величини термо-ЕРС зонда в залежності від відстані на поверхні зразка (1), отриманого після травлення в водному розчині гліцероля; (2) – в розчині  $ZnSO_4$  в гліцерилі [15].

студентам 5-го курсу радіофізичного факультету Київського Університету, куди я був зарахований (у середині 1953-го року), під-час формування цього нового факультету (до цього я навчався на фізичному факультеті). При розподілі студентів за спеціалізаціями мене відібрав у теоретичну групу акад. С.І. Пекар, чим, признаюсь, я був засмучений, бо вже з другого курсу, як волонтер, добровільно відвідував напівпровідникові лабораторії з

вакуумними постами, великими електромагнітами та технологічними пічками в яких молоді викладачі та старші студенти – «випікали» всілякі оксидні напівпровідники – вишневого, яскраво-синього, чорного, зеленого кольорів. Завдяки цьому я був представлений В.Є. Лашкар'юву, який посприяв переведенню мене на його кафедру. Для мене це скінчилось дуже прискіпливою задачею курсу лекцій С.І. Пекаря по квантовій механіці (десь біля 2-х годин), зрештою, з відмінною оцінкою.

В.Є. Лашкар'юв розпочав ретельні дослідження напівпровідників зразу після повернення в м. Київ після заслання (1938 р., тобто, ще до війни). Тоді найбільш розповсюдженими промисловими напівпровідниковими приладами були потужні селенові випростовачі та fotocутливі мідь-оксидні та сірчаносрібні фотоелементи. Механізму випростовування однак не було остаточно встановлено, хоч було ясно, що справа йде про наявність випрямляючого бар'єру, вбудованого, в напівпровідник. Вже тоді В.Є. Лашкар'юв запропонував дослідження бар'єрного шару оригінальним методом термоелектричного зонда рис. 1, 2. Розгорнута стаття В.Є. Лашкар'юва на цю тему з'явилась якраз перед самим початком війни в Известиях АН СССР, ser..Fiz., 5, N4-5, 442-478. (1941), [16]. Йшлося про розробку методу подвійного термозонду (thermo probe), запропонованого автором та застосованого для дослідження бар'єрних шарів міднооксидних ( $CuOx$ ), сірчаносрібних фотоелементів та селенових випростувачів. Ці експерименти дозволили автору довести, що бар'єрний шар існує по обидва боки поверхневого шару напівпровідника, а носії струму в них мають протилежний знак, тобто  $n$  (електрони) або  $p$  (дірки). Запропоновано оригінальний механізм формування бар'єрного шару, а саме, наявність просторово роздільних центрів з різним знаком захопленого заряду. Ці висновки демонструвались експериментами за зміною знаку термо-ЕРС при зондуванні останньої термозондом в структурі з клиноподібним по товщині профілем, Також була запропонована зонна модель з вигином зон від об'єму зразка (р-типу) до поверхні (п-типу), рис. 3. Це повністю відповідає сучасним уявленням

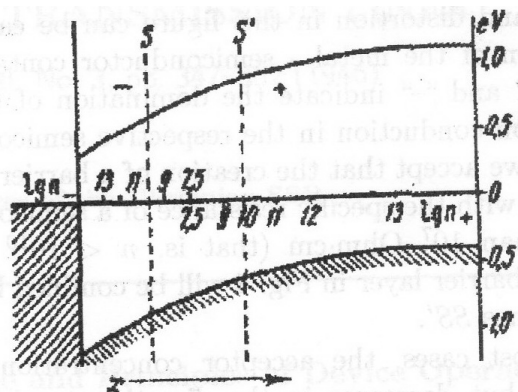


Рис. 3. Енергетична схема фотоелемента (випростувача) [15].

про механізм дії напівпровідникових фотovoltaїчних приладів з р-п переходом. Зауважимо, що саме р-п бар'єрні фотоелементи забезпечують максимальні бар'єри (порівняно, наприклад, з Шотткі контактними). Отже, В.Є. Лашкар'єв принаймні на 10-15 років випередив своїм відкриттям генеральний напрям розвитку напівпровідникової електроніки, як радіоелектроніки, так і фотоелектроніки.

Інший висновок мав принципове значення про явища термоелектрорушійних сил що виникають у напівпровідникових матеріалах. Цей ефект є набагато більшим, ніж в металах (зокрема, в силу слабкої теплопровідності та зміни електропровідності напівпровідників в широкіх межах). Як видно з рис.2, саме висока координата роздільна здатність (менш 0,05 мм) дозволила В.Є. Лашкар'єву отримати координатну залежність термо-ЕРС та встановити геометричне положення і оцінити товщину р-п-переходу, що повністю узгоджувалось з його теоретичними розрахунками, виконаними на основі співвідношень рівняння Пуассона.

В.Є. Лашкар'єв же, після закінчення навчання в Університеті, зарахував мене, разом з моїм товаришем по курсу Віталієм Стріхою, до престижної новоствореної НВЧ спеціалізованої лабораторії, спочатку інженером, а через семестр – старшим інженером (підставою було те, що, крім необхідності заповнити вакансії, я отримав червоний диплом відмінника).

Згадую з подякою, як фахово і інформативно проводив В.Є. Лашкар'єв семінари – навчав якісно

реферувати наукові журнали, особисто пропонуючи статті по самим новим досягненням транзисторної фізики та техніки. Студенти захоплено дослухались до його коментарів, порад, навчались високій культурі спілкування, поваги до осіб різного рангу. У цьому я ще більш впевнився, коли працював у згаданій лабораторії Університету – він підтримував йому одному помітне нове і значне, та вмів без образ відкинути незначне, що тільки відволікало.

Отже, моя праця в Університеті проходила у лабораторії НВЧ, керівником якої був В.Є. Лашкар'єв, а замісником – трохи старша від нас (на 2 курси) Наталя Миколаївна Омеляновська інтелігентна та доброзичлива жінка. Згодом довгий час цю унікальну лабораторію очолював Віталій Ілларіонович Стріха, який сформував для неї оригінальний та перспективний напрям – фізика реальних контактів «метал – напівпровідник».

Звичайно, в лабораторії були також і інші високофахові співробітники – інженери І. Самбур, І. Радзівський, Г. Зарубін та ін.

## II. Дослідження з фізики поверхні напівпровідникових НВЧ детекторів, виконані під керівництвом В.Є. Лашкар'єва

Мені доручили ділянку по дослідженню електричних властивостей германієвого та кремнієвого матеріалу, з якого виготовлювались



Рис. 4. На засіданні наукового семінару в кабінеті В.Є.Лашкар'єва (1960 р.)

(зліва направо: В.І. Ляшенко, Г.В. Лашкар'єв, І.М. Дикман, В.Г. Литовченко, М.К. Шейнкман, Г.А. Федорус, К.Д. Глінчук, Н.Б. Лук'янчикова, В.Є. Лашкар'єв).

точкові НВЧ детектори. Моєму тепер уже колезі - Віталію Стрісі – ділянку по вимірюванню та дослідженню параметрів цих діодів, випростувачів для радіолокаторів. Трохи за нас старший Револьт Миколаєвич Бондаренко відповідав за технологію. Тобто НВЧ лабораторія працювала на повну потужність вже майже з самого початку її заснування передусім завдяки великому впливу В.Є. Лашкар'юва, одного з найдосвідченіших напівпровідниковців світового масштабу. Близько за півтора року, маючи оптимальні умови для творчої праці, я (у співпраці з співробітниками цієї нової НВЧ лабораторії В.І. Стріхою та, В.М. Добровольським), виконав два цикли робіт: 1) з фізики поверхні в точкових контактах напівпровідників з металічним електродом, тобто, в НВЧ точкових діодах; та 2) з фізики легування «промислових» напівпровідників – германію та кремнію. Це були одні з перших (а деякі й перші) результати з фізики промислово важливих напівпровідників. Зокрема це стосується досліджень реальної поверхні напівпровідників – напрямку фізики твердого тіла, що тільки починався розвиватись.

На рис. 4 подана світлина засідання наукового семінару В.Є. Лашкар'юва на початку 60-х років, в якому я приймав участь як активний учасник. Хочу звернути увагу на велику кількість молодих науковців, яких активно залучав В.Є. Лашкар'юв до обговорень на семінарах, які він проводив.

Як уже відмічалось, дослідження В.Є. Лашкар'юва в галузі напівпровідників (термоелектричних, фотоелектричних, рентгеновських властивостей) розпочались ще в 1939 – 1941 роках в Інституті фізики АН України та Київському державному Університеті. Досліджувались широкозонні напівпровідники, переважно з прямозонною структурою з великим внеском йонного зв'язку (оксидні  $\text{CuO}$ ,  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SeO}_x$ ,  $\text{Ag}_2\text{S}_3$  та ін.).

Дослідження властивостей поверхні спочатку проводились переважно на плоскому контакті метал-напівпровідник В.Є. Лашкар'ювим разом з досвідченими фізиками В.І. Ляшенком, Г.А. Федорусом, а результати були опубліковані у відомих фізичних журналах – ЖТФ; Изв. АН та ін. (1938-1941 р.р.). Вже тоді В.Є. Лашкар'юв, виконав прекрасний цикл досліджень із конденсаторної фото – ЕРС та по термо-ЕРС точкового контакту. Саме останні дослідження і привели до видатного відкриття В.Є. Лашкар'ювим у 1940-му році - відкриття бар'єрної структури р-п переходу, яка складає основу сучасної напівпровідникової електроніки

На жаль, це глобальне відкриття в зв'язку початком світової війни та з тотальною ізоляцією наших вчених, не стало гідним здобутком людства. Тому ми хоч зараз маємо доносити до міжнародної спільноти велич досягнень української науки, інформуючи про такого рівня досягнення (як приклад – про І. Пулюя, О. Смакулу, М. Боголюбова) у міжнародних журналах (див. цитоване джерело [16],

на конференціях, семінарах і таке ін.

Дослідження В.Є. Лашкар'юва в післявоєнні роки було також пов'язано з прямозонними напівпровідниками, переважно – fotocутливими III-V ( $\text{CdS}$ ,  $\text{CdSe}$ ,  $\text{CaTe}$ ,  $\text{InSb}$  та ін.), хоч за його увагою не залишилися матеріали прикладної електроніки – германій та кремній, тобто напівпровідники з валентним зв'язком та з алмазоподібною кристалічною структурою.

Поштовхом до активних досліджень Ge було відкриття в США «поверхневого транзистора» (1947 р.), виготовленого на напівпровідникових структурах з плоскою, хімічно травленою поверхнею з суміжними точковими контактами. Масштабні дослідження більш хімічно стійкого напівпровідника кремнію, дали розробки планарної технології, а також створення польового транзистора на основі  $\text{SiO}_2$ -Si структури. Кремнієві транзистори вперше були запропоновані в 1957 році фірмою BELL. На цей період також припадає розгортання досліджень Ge та Si під керівництвом В.Є. Лашкар'юва в названій НВХ спецлабораторії в Києві.

Нижче наведу декілька знакових результатів, отриманих мною та за моєю участю вказаними співробітниками НВЧ лабораторії під керівництвом В.Є. Лашкар'юва, [1-6]. Це стосується і моїх перших публікацій, де були досліджені **властивості поверхні германію та кремнію в точковому контакті**, описана повільна зарядка – розрядка поверхневих станів широко вживаного точкового НВЧ діода конструкції: «бронзова голка - хімічно оброблена реальна поверхня германію». Виявлено визначальний вплив поверхневих станів на величину бар'єру та на поверхневі фото ефекти: конденсаторну фото-ЕРС, а також на провідність тонких пластин (так званий ефект поля). Ці дослідження стали базовими при формуванні загальної тематики названої спецлабораторії на всі наступні роки.

### III. Дослідження рекомбінаційних властивостей легованого германію

Наступний етап моїх досліджень та цикл публікацій з авторством В.Є. Лашкар'юва були викладені в центральних академічних фізичних журналах: ЖТФ, 1957, ФТТ, 1959, УФЖ, 1959). Отримано нові результати з легування германію мілкою донорною домішкою групи V антимоніду (Sb), та акцепторною домішкою – берилію (Be), групи II. Було показано, що досліджені добре розчинні домішки вводять мілкі рівні (центри), що в першу чергу зсуває об'ємний рівень Фермі. Причому сурма не вводить додаткових рекомбінаційних центрів, а лише впливає на зростання рекомбінації через зміну заповнення зарядами вже існуючого «власного» центра, ймовірно, пов'язаного з комплексами структурних дефектів, що виникають при рості кристалу. Тоді як інша картина реалізується для берилію, додатково до цього механізму, берилій також вводить нові



рекомбінаційні рівні, тому не є бажаною легуючою домішкою.

Перша моя робота, опублікована разом з В.Є. Лашкар'ювим у центральному журналі в 1957 році (ЖТФ, 1957, т. 27, в.11, с.2437), мала назву: «Зависимость времени жизни сторонних носителей тока от концентрации примеси сурьми в германии» (В.Е. Лашкарёв, В.Г. Литовченко, И.М. Омеляновская, Р.Н. Бондаренко и В.И. Стриха). Її значення полягало в тому, що для роботи біполярних напівпровідникових приладів важливу роль відіграє така характеристика матеріалу, як час життя збуджених носіїв струму. Було відомо, що введення домішок до германію (наприклад нікелю, заліза, сурми та деяких інших), різко зменшує величину часу життя, але не була з'ясована природа цих змін. У даній роботі матеріал вперше досліджувався в широкому діапазоні концентрацій Sb методом фото-ерс. Була ідентифікована природа зміни часу життя нерівнова носіїв струму, а саме – зміна заповнення рекомбінаційних рівнів вихідного матеріалу.

У роботах, що були виконані невдовзі під керівництвом В.Є. Лашкар'юва (УФЖ, 1959, т. 4, № 3, с. 372-375. «Властивості германію з домішкою берилію» автори В.Є. Лашкар'юв, Р.М. Бондаренко, В.М. Добровольський, Г.П. Зубрін, В.Г. Литовченко, В.І. Стриха) досліджувався германій, легований елементом другої групи Періодичної таблиці Менделєєва – берилієм, який, як з'ясувалось, дає два рекомбінаційних рівня. Вирощування кристалів германію провадилося методом Чохральського. Одержані монокристали германію мали передбачений розрахунками питомий опір від  $10^{-1}$  до 20 Ом см і провідність р-типу. З'ясувалась також аномально висока розчинність берилію, а саме, максимальна розчинність берилію при температурі затвердіння розплаву досягала  $10^{19}$  см<sup>-3</sup>.

Детальне дослідження германію, легованого берилієм, було описано в роботі, опублікованій в новому на той час центральному академічному журналі Фізика Твердого Тіла (ФТТ), 1959, (збірник. ст.№ 2, с. 39-46): «Электрические и рекомбинационные свойства германия с примесью бериллия» В.Е. Лашкарёв, Р.Н. Бондаренко, В.Н. Добровольський, Г.П. Зубрин, В.Г. Литовченко и В.И. Стриха.

#### IV. Наукові контакти з

#### **В.Є. Лашкар'ювим після мого переходу до Інституту фізики (1956 – 70 р.р.) та Інституту напівпровідників АН України**

Згодом, після мого вступу до аспірантури Інституту фізики Академії наук України (1956 рік), я проводив дослідження поверхні германію та кремнію вже під безпосереднім керівництвом професора Василя Івановича Ляшенка, видатного українського фізика, заступника В.Є. Лашкар'юва по відділу, але

при активному і частому спілкуванні та обговоренні з В.Є. Лашкар'ювим.

Як приклад цього згадується активна участь В.Є. Лашкар'юва у обговоренні дискусійних питань, ініційованих новосибірськими фізиками (очолюваними А.В. Ржановим) про природу поверхневих фотоелектричних ефектів, про вплив поверхневої області просторового заряду, про прилипання фото носіїв на поверхні напівпровідників, про особливості кінетики фотопровідності та про природу фотovoltaїчних ефектів в умовах сильного впливу поверхні, рекомбінації на ній та про дискретний чи неперервний характер енергетичного спектру поверхневих станів і т. ін. Дискусія (що розпочалась у 1965 році на школі з фізики поверхні (Ужгородський Університет, база Скалка), продовжувалась декілька років, і кінець їй поклав лист В.Є. Лашкар'юва до А.В. Ржанова, теж директора (Новосибірського Інституту напівпровідників) де, після детального з ним обговорення, Вадим Євгенович чітко виклав фізичну суть позиції киян на природу та відмінності поверхневих фотоелектричних ефектів від об'ємних. Суть відмінності полягала у локалізації поверхневого захопленого заряду та формуванні ізольованих поверхневих бар'єрів, що відсутні у випадку об'єму. В листі-відповіді В.Є. Лашкар'юв дипломатично написав: ми прийшли до висновку, що наші фізики правильно інтерпретують механізми досліджуваних явищ, а розходження з вами, на нашу думку, носять скоріше термінологічний характер.

На завершення наведу ще декілька фактів мого подальшого спілкування з В.Є. Лашкар'ювим. Згадую схвальний відгук при захисті (1955 рік) дипломної роботи «Дослідження поверхневих властивостей германію методом контактної різниці потенціалів», виконану під керівництвом Василя Івановича Ляшенка (якраз тоді він захистив докторську дисертацію). Захист всіх дипломних робіт В.Є. Лашкар'юв завжди проводив персонально, даючи оцінку перспективам виконаної роботи. Те ж, звичайно, стосувалось і передзахисту кандидатських та докторських дисертацій, які я теж пройшов через загальноінститутський (Інститут напівпровідників) семінар, яким аж до 1973 року керував В.Є. Лашкар'юв. Після захисту кандидатської дисертації (1960 році) В.Є. Лашкар'юв запропонував мені, на громадських засадах, попрацювати Ученим секретарем Наукової Ради АН України з Фізики напівпровідників, головою якої він був. Тоді я пересвідчився, як мужньо В.Є. Лашкар'юв відстоював інтереси українських вчених, добиваючись у Союзній Академії (в спорідненій раді) збільшення лімітів на міжнародні відрядження, валюту, на важливі конференції та ін.

І в наступні роки я також відчував позитивне ставлення до мене з боку В.Є. Лашкар'юва. На підтвердження згадаю такий знаковий, з моєї точки зору, навіть у цілому для Академії наук України, факт. На початку 1962 року, скоро як я отримав звання старшого наукового співробітника, я несподівано отримав листа з США з персональним

запрошенням стати членом Редакційної Ради нового важливого міжнародного журналу, присвяченому цілій галузі – фізичним та хімічним явищам, що відбуваються на поверхні тіл та на границях розділу фаз. Журнал мав називатись: Surface Science. Доречно ще раз згадати, що саме з досліджень поверхні точкових контактів був відкритий вченими США Бардиним, Бреттеном та Шоклі транзисторний ефект (ці автори скоро після цього були нагороджені Нобелівською премією). Саме отримання персонального листа з «ворожої» країни – викликало негайну негативну реакцію та настійну пропозицію відмовитись (привід знайдеться). Реакція солідної наукової спільноти Інституту та Академії теж була рішучою: таку позицію мав зайняти відомий метр, а на вченій раді Інституту напівпровідників, де це питання обговорювалось детально окремо, звучали пропозиції – запропонувати інших вчених (В.Є. Лашкар'юва, В.І. Ляшенко, або навіть когонебудь з Союзної Академії).

Чому ж іноземна пропозиція була такою важливою? Лист – запрошення надійшов від найбільш авторитетного в світі напівпровідникового центру – Лінкольнівської лабораторії, Відділення твердого тіла Массачусетського Технологічного Інституту (керівником якої був широко знаний професор Олександр Смакула), від заступника цього центру відомого вченого Г.К. Гейтоса, про створення при видавництві North Holland Publishing Company нового міжнародного журналу Surface Science, присвяченого актуальній і до теперішнього часу проблемі – фізиці та хімії поверхні та меж між фазами, з вивченням яких пов'язаний “Spectacular progress» фізики та хімії твердого тіла, що заслуговує на висвітлення в спеціальному журналі” міжнародного рівня. Проф. Г. Гейтос згодився очолити наукову редакцію, працювати головним редактором цього журналу та сформувати склад Редакційної комісії. Далі йшлося (в оригіналі): **“I am writing to you and to several other distinguished scientists through the world for comments and service. I would also like to invite you to serve on the Advisory Editorial Board of the journal.** Далі йшов перелік видатних наукових світил, серед них – декілька Лауреатів Нобелівської премії. І далі – I am presently writing to Balkansky (France), W.H. Brattain (USA), S.N. Cabrera (USA), J.I. Carasso (England), J.H. de Boer (Netherlands), H.J. Engel (Germany), H.E. Farnsworth (USA), H.U. Harten (Germany), W.C. Herring (USA), I.S. Kawaji (Japan), A. Many (Israel), N.E. Mott (England), M.J. Spornai (Netherlands) and Wagner (Germany).

I am looking forward to hearing from You – Sincerely Yours – Herry C. Gates, Assoc. Head of Solid Stat. Division.

Перелічені Гейтосом науковці, всі без винятку, були всесвітньо відомими ученими, і раптом – молодий старший науковий співробітник та ще не із центральної, Союзної Академії – це звичайно викликало серйозний подив та підозри. Посипались поради про рішучу відмову не тільки з 1-го відділу КДБ (адже це – неконтрольована робота на

капіталістів, можливість витоку секретів та ін.), а і від старших колег Вченої Ради. Посипались постійні поради – відмовитись, запропонуйте достойних кандидатів з Союзу або з членів Вченої Ради, солідних у чинах... Тоді і проявились високі гуманітарні якості характеру В.Є. Лашкар'юва – який сам знаходився під негласним наглядом комуністичної влади (він не був членом КПРС). В особистій окремій бесіді після засідання Ради він радить таке: «Запрошення має величезне значення для Академії України та Інституту в цілому, і для вас персонально також. Воно є персональне, не підлягає ніякій заміні, так це прийнято в Світі, а для Вас, впевнений, воно є найбільш знаковим на все Ваше майбутнє наукове життя».

Ці слова стали пророчими: маючи рекомендацію члена такої поважної наукової спільноти, я відкрив \*вікно в Європу\*, тобто, неодноразово запрошувався до Програмних комітетів знакових міжнародних конференцій, до редакцій інших міжнародних журналів та збірників, мав доступ навіть до закритих зарубіжних лабораторій (Японії, ФРН, США, Канади та ін.) і т. ін. Все це сприяло підвищенню наукового рівня результатів, отриманих нашим колективом, та набагато розширило наші наукові зв'язки.

Після цієї події В.Є. Лашкар'юв, спостерігаючи за моїм науковим ростом, якось висловив на Вченій Раді таку думку: «Литовченко В.Г. вміє працювати не тільки з експериментом, а і з олівцем», відгукуючись на мою велику оригінальну статтю із теоретичного та експериментального дослідження фотоефекту поля (цей ефект є базовим у роботі польових транзисторів, найбільш вживаних і дотепер структур інтегральних схем). Ця стаття була опублікована вже в 1-му томі Surface Science [7].

І в подальшому В.Є. Лашкар'юв також спостерігав за моєю науковою діяльністю. Як приклад – наводжу випадок, коли в 1963 році формувався ювілейний (до 60 річчя В.Є. Лашкар'юва) випуск „Українського фізичного журналу, в цей номер, підготовлений за строго обмеженим списком, за персональним запрошенням В.Є. Лашкар'юва, я представив і опублікував велику статтю по поверхневих фотоперетворювачах, що містила велику теоретичну частину.

## Висновки

Підсумуємо описані вище матеріали з дослідження поверхні та рекомбінації в германії, виконані під безпосереднім керівництвом В.Є. Лашкар'юва:

1. Уперше встановлено важливий вплив поверхневих ефектів (зарядження поверхневих рівнів, наявність проміжного діелектричного шару, зміна потенціального бар'єру) на роботу точкових НВЧ діодів.
2. Отримано оригінальний результат з легування германію мілкою донорною домішкою групи V

- антимонід (Sb). Показано, що ця широко вживана домішка не є рекомбінаційною, а формує мілкі легуючі донори. Рекомбінацію забезпечує інший центр, з глибоким рівнем 0.22 eV, який в основі має структурний дефект, що завжди присутній для прийнятої технології виготовлення германію (метод Чохральського).
3. Вперше досліджено рекомбінацію сильно розчинного в германії акцепторного елементу групи II берилію (Be). Встановлено, що Be є двозарядною домішкою, тому формує 2 рівні: мілкий  $E_v = 0,07$  eV (легуючий) та глибокий  $E_{VR} \sim 0,17$  eV, який є рекомбінаційним.
4. Показана надвисока ефективність легування берилієм завдяки значній його розчинності ( $10^{19}$  см<sup>-3</sup>). Встановлено механізм цього ефекту – малий розмір атомів Be ( $r \sim 1$  Å), завдяки чому він легко вбудовується у вузли ґратки без її істотної деформації.
- Фізичні ефекти та об'єкти досліджень, які запропонував В.Є. Лашкар'юв, залишаються актуальними і зараз і повністю відповідають світовому рівню напівпровідникової науки.
- [1] N.M. Omel'janovs'ka, V.G. Litovchenko, V.I. Striha, R.M. Bondarenko, Dovgochasovi inercijni javishha na tochkovomu germanievomu kontakti. Naukovij shhorichnik za 1956 rik, Vidavnistvo Kiïvs'kogo universitetu, 1957.
- [2] V.I. Striha, R.M. Bondarenko, N.M. Omel'janovs'ka, V.G. Litovchenko, «Vpliv pitomogo oporu i ob'emnogo chasu zhittja nosiïv strumu materialu na strumovu chutlivist' detektoriv santimetrovogo diapazonu», Visnik Kiïvs'kogo Universitetu № 1, 1958, Serija Fizika ta himija, vip.1.
- [3] V.C. Lashkar'ov, V.G. Litovchenko, N.M. Omel'janovs'ka, R.M. Bondarenko, V.I. Striha, Zalezhnist' chasu zhittja storonnih nosiïv strumu vid koncentracii domishki surmi v germanii. Visnik Kiïvs'kogo Universitetu № 1, 1958, Serija Fizika ta himija, vip.1.
- [4] V.E. Lashkarjov, V.G. Litovchenko, N.M. Omel'janovskaja, R.N. Bondarenko, V.I. Striha, Zavisimost' vremeni zhizni storonnih nositelej toka ot koncentracii primesi sur'mi v germanii. ZhTF, 1957, t. 27, v.11. s. 2437.
- [5] V.C. Lashkar'ov, R.M. Bondarenko, V.M. Dobvol's'kij, G.P. Zubrin, V.G. Litovchenko, V.I. Striha, Vlastivosti germaniju z domishkoju beriliju. UFZh, 1959, t. 4, № 3, s. 372-375.
- [6] V.E. Lashkarjov, R.N. Bondarenko, V.N. Dobvol's'kij, G.P. Zubrin, V.G. Litovchenko, V.I. Striha. Jelektricheskie i rekombinacionnye svojstva germanija s primes'ju berillija. FTT, 1959, sb. statej 2, s. 39-46.
- [7] V.I. Ljashenko i V.G. Litovchenko, Vlijanie adsorbicii molekul na rabotu vyhoda i provodimost' germanija (1. Amplitudnye harakteristiki; 2. Kinetika processa), 1958, Zhurnal tehnichej fiziki, Tom XXVIII, v. 3. (Avtory vyrazhajut priznatel'nost' rukovoditelju Otdela akademiku AN USSR V.E. Lashkarjovu i K.B. Tolpygo za obsuzhdenie jetoj raboty).
- [8] V.N. Dobvol's'kij, V.G. Litovchenko, K raschjotu ob#jomnogo vremeni zhizni i skorosti poverhnostnoj rekombinacii nositelej toka, Kievskij gosudarstvennyj universitet, PTJe, № 6, 1959.
- [9] V.G. Litovchenko, Rozrahnok shvidkosti poverhnevoj rekombinacii ta ob'emnogo chasu zhittja nosiïv strumu u vipadku nesimetrichnih granichnih umov, UFZh, t. IV, № 3, 1959.
- [10] V.G. Litovchenko. Issledovanie bystryh poverhnostnyh sostojanij kremnija. FTT, 1959. Okremij vipusk.
- [11] V.G. Litovchenko i O.V. Snitko, Dlinnovremennye izmenenija jeffekta polja v kremnii, Fizika tverdogo tela. Tom II, v. 5. 1960.
- [12] V.G. Litovchenko i O.V. Snitko. Poverhnostnye svojstva kremnija. Fizika tverdogo tela. Tom II, v. 4. 1960.
- [13] V.G. Litovchenko, The kinetics and amplitude characteristics of the small field effect at semiconductor surfaces during steady state illumination, Institute of Semiconductors, Academy of Sciences of the Ukrainian S.S.R., Kiev, U.S.S.R, Surface Science, 1, 1964, 291 – 317.
- [14] V.G. Litovchenko, V.G. Popov. Fizika poverhnosti i mikroelektronika. Novoe v zhizni nauki i tehniki. Znanie, Fizika, serija 1'90.
- [15] V.E.Lashkaryov, Investigations of a barrier layer by the thermoprobe method, Izv.Akad.Nauk SSSR, Ser.Fiz.5. No.4-5, hh.442-446 (1941).(angles frangl. In Ukr.J.Phys., 2008, v.53, p.53-56, Special issue).
- [16] V.Litovchenko, M.Strikha, European Phys.News, No.45/1, 2014 "100 Years of Semiconductor Science, The – Ukrainian Contributions".