

ТЕМПЕРАТУРНА ЗАЛЕЖНІСТЬ ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
СВІТЛОВИПРОМІНЮЮЧИХ СТРУКТУР НА ОСНОВІ GaPС. О. Канєвський¹, І. В. Коляденко¹, В. Я. Опилат², В. П. Тартачник¹¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ² Національний педагогічний університет ім. М. П. Драгоманова, Київ

Розроблено методику вимірювання вольт-амперних характеристик (ВАХ) із можливістю задання кроку дискретизації як за напругою, так і струмом. Установлено, що форма вольт-амперної характеристики фосфідо-галієвих структур може залежати від режиму вимірювань. S-подібний характер ВАХ та тонка структура осциляцій в області високих струмів, виявлені при низьких температурах у режимі дискретизації по струму, можуть бути пояснені термічним спустошенням та наступним заповненням глибокого рівня, що відповідає пасткам неосновних носіїв струму. На низькотемпературних ВАХ червоних світлодіодів GaP, опромінених нейтронами реактора, вимірних у режимі дискретизації за напругою, виявлено N-подібну ділянку, існування якої пояснюється існуванням у зразку областей розупорядкування.

Дослідження деградаційних процесів у GaP, стимульованих різноманітним впливом (температура, високоенергетичне опромінення, ультразвукове поле), актуальні як з огляду на широке використання у приладобудуванні фосфідо-галієвих структур – від різноманітних кольорових світлових індикаторів до плоских великорозмірних екранів, так і з точки зору пошуку нових потенційних можливостей даного матеріалу й нетипових на сьогоднішній день застосувань. Удосконалення світловипромінюючих пристроїв (розширення кольорової гами свічення, підвищення квантового виходу, подовження терміну функціонування) пов'язане з вивченням природи та механізмів введення дефектів, із впливом структурних порушень на основні функціональні властивості світловипромінюючих пристроїв та можливостями відновлення початкових фізичних характеристик. Пошук додаткової інформації стає можливим при застосуванні нових методів досліджень чи удосконаленні традиційних.

Ця робота демонструє якісно нові можливості удосконаленої методики вимірювання вольт-амперних характеристик, виготовлених на основі GaP. У роботі проводились дослідження вольт-амперних характеристик (ВАХ) вихідних та опромінених нейтронами реактора фосфідо-галієвих світловипромінюючих структур. Температурні залежності ВАХ вимірювались у діапазоні температур 77 - 300 К на червоних (легованих цинком і киснем) та зелених (легованих азотом) світлодіодах, створених нарощуванням двох епітаксійних шарів p- і r-типів провідності на підкладинку n-типу, одержану методом Чохральського. Товщина n-шару становила 50 - 60 мкм, r-шару – 20 - 30 мкм. Концентрація електронів у n-шарі становила $8 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, дірок у r-шарі $2 - 3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

Головною метою даної роботи було створення установки, що допомогла б вивчити природу ділянки негативного диференціального опору (НДО), яка виникає на ВАХ світлодіодів GaP при низьких температурах. У літературі на сьогоднішній день не існує єдиної точки зору з цього приводу. У роботі [1] існування ділянки НДО пояснюється виникненням і-шару в збідненій області p-n-переходу; робота [2] пов'язує негативний диференціальний опір із нагріванням високоомної частини світлодіода.

Для забезпечення достовірності результатів було сконструйовано і виготовлено установку на основі високостабільного джерела струму та прецизійного комбінованого вимірюючого пристрою (рис. 1). Цифровий інтерфейс зазначених приладів дозволив створити високоефективний пристрій їхнього спряження з комп'ютером і повністю автоматизувати процес вимірювань. Установка керується комп'ютерною програмою, що працює на платформі Windows-98 і дозволяє знімати ВАХ з дискретизацією як за напругою $\Delta U = 0,1 \text{ В}$, так і за струмом $\Delta I = 1 \text{ мА}$.

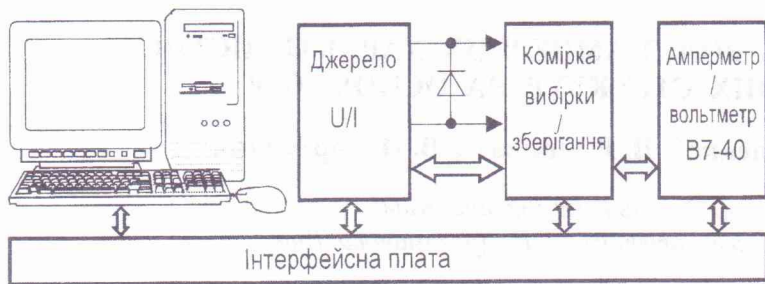


Рис.1. Блок-схема вимірювальної установки.

вольт-амперних характеристиках опроміненого та неопроміненого діодів (рис. 2) спостерігаються лише при використанні джерела як генератора струму й повністю відсутні при заданні кроку вимірювань за напругою.

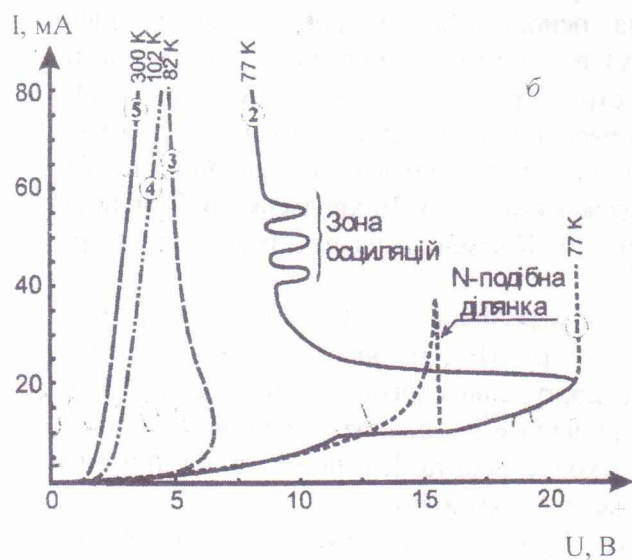
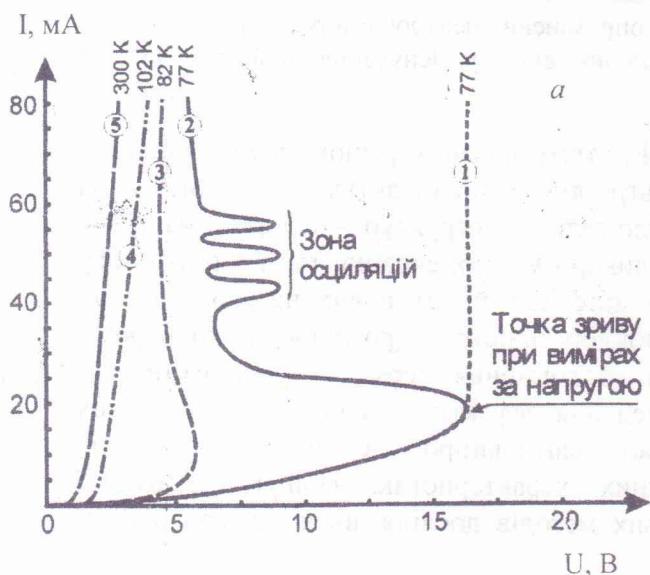


Рис. 2. Температурні залежності прямих віток ВАХ для вихідного (а) та опроміненого нейтронами (б) червоних GaP : ZnO світлодіодів, виміряних з дискретизацією за напругою I та струмом 2 - 5, при температурах: 300 К, 102 К, 82 К та азотній.

Результати досліджень показують, що найповнішу інформацію про хід ВАХ можна одержати лише поєднанням взаємодоповнюючих кривих $I(U)$, знятих у двох режимах – із дискретизаціями за напругою та струмом. Так, виявлені при білязотних температурах (77 - 90 К) S-подібні ділянки на

Якісно різний характер ВАХ пояснюється неоднаковими способами реалізації режимів дискретизації за напругою і струмом. У режимі генератора напруги потужне джерело, працюючи в режимі генератора напруги, подає на зразок імпульс із наперед установленою величиною Е.Р.С. У режимі генератора струму зразок із самого початку формування імпульсу під'єднується до джерела й напруга на діоді нарощується аж до набуття струмом наперед заданого значення. У першому випадку передній фронт імпульсу формується за час, близький до 1 мс, тоді як у другому – може сягати 100 мс. Оскільки вимірювані значення фіксуються одразу ж після встановлення напруги, то можна вважати, що в режимі дискретизації вимірювань за струмом на властивості зразка у заданому стані (U, I) впливають усі попередні стани, через які він проходить унаслідок значного часу встановлення імпульсу. Дискретизація за напругою дозволяє встановити вимірювані величини для даного стану, виключивши вплив попередніх процесів.

У досліджуваних нами зразках S-подібний характер ВАХ та тонка структура осциляцій в області високих струмів може бути пояснена заповненням та наступним термічним спустошенням глибокого рівня, що відповідає пасткам неосновних носіїв струму. Захоплення пасткою носіїв призводить до збільшення опору зразка (ділянка позитивного диференціального опору) і до більшого падіння напруги на ньому, а отже, і до

зростання потужності тепловиділення. При досягненні температурою значення, достатнього для термоактивації носіїв з глибокого рівня опір діода різко зменшується завдяки збільшенню концентрації вільних носіїв (область негативного диференціального опору). Відсутність зазначених особливостей форми ВАХ при температурах, вищих за 90 К, підтверджує припущення про їхню термічну природу – енергетичний рівень повністю термоіонізований і не може відігравати ролі пастки. Зрозуміло, що в режимі дискретизації за напругою дослідження подібних ефектів неможливе.

Низькотемпературні характеристики червоних світлодіодів GaP, опромінені нейтронами реактора ($E_{\text{ср}} = 2 \text{ MeV}$, $\Phi = 2,65 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$), наведено на рис. 2, б. Видно, що на прямій вітці ВАХ, виміряній у режимі дискретизації за напругою, виникла N-подібна ділянка. Відомо, що серед дефектів, які утворюються у твердих тілах під дією швидких нейтронів, можливе формування областей розупорядкування, яким у забороненій зоні напівпровідника відповідають цілі підзони можливих енергетичних станів [3]. Дослідження глибоких рівнів у опроміненому нейтронами GaP [4] показали, що широка неструктурована ділянка у спектрі нестационарної (релаксаційної) спектроскопії глибоких рівнів (НСГР) відповідає саме таким макродефектам. N-подібний характер ВАХ може бути обумовлений

тунелюванням носіїв струму з області розупорядкування з наступним переходом в одну з дозволених зон.

Форма вольт-амперних характеристик вихідного та опроміненого нейтронами зелених світлодіодів GaP (рис. 3) якісно не відрізняється від ВАХ червоних світлодіодів. Основна ж кількісна відмінність виражена значно більшою амплітудою осциляцій. Останнє може бути обумовлене вищою якістю зелених світлодіодів, одержаних за досконалішою технологією. Дійсно, зменшення числа сторонніх по відношенню до осциляційних ефектів порушень структури сприяє інтенсивнішому виявленню процесів захоплення та термоемісії носіїв дефектами, відповідальними за значні коливання концентрації вільних носіїв.

Підсумовуючи, можна констатувати:

форма вольт-амперної характеристики фосфідо-галієвих напівпровідникових структур може суттєво залежати від параметрів тестуючого сигналу;

лише комплексне дослідження ВАХ із застосуванням різних режимів дискретизації параметрів тестуючого сигналу може дати найповнішу інформацію про справжню форму кривих та процеси, що її обумовлюють;

застосування прецизійного обладнання, що реалізує зазначені можливості, дозволило спостерігати раніше недоступні ефекти на ВАХ як вихідних світловипромінюючих структур фосфіду галію, так і опромінені реакторними нейтронами.

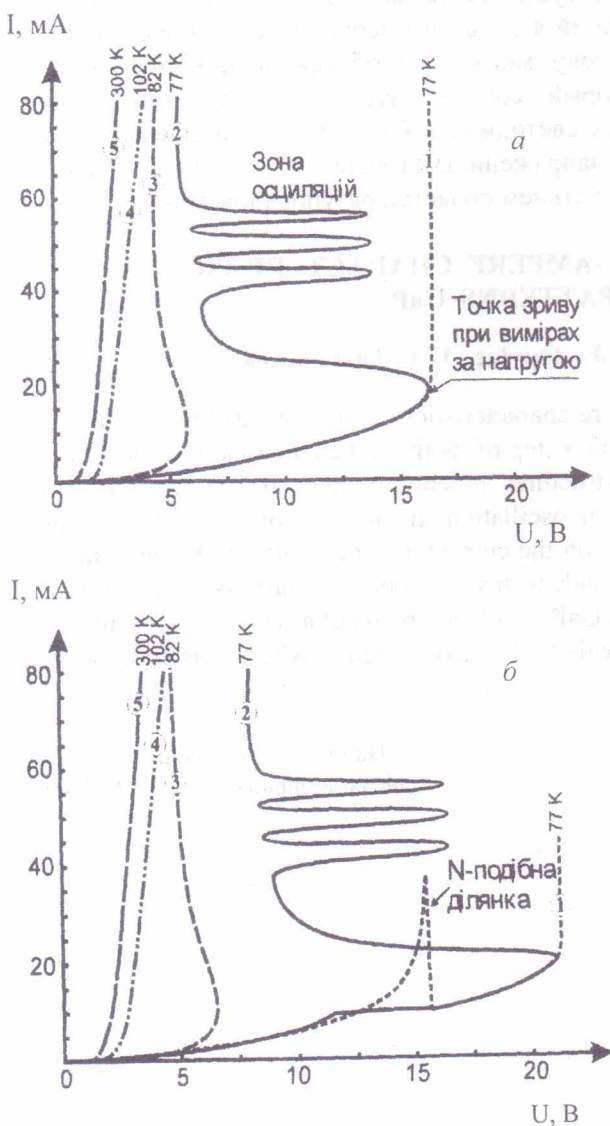


Рис. 3. Температурні залежності прямих віток ВАХ для вихідних (а) і опроміненіх нейтронами (б) зелених GaP:N світлодіодів, виміряних з дискретизацією за напругою 1 та струмом 2 - 5.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Bhargava R.N.*: Negative Resistance in GaP Electroluminescent Diodes // *Appl. Phys. Lett.* - 1969. - Vol. 14, No. 6. - P. 193.
2. *Maeda K.* Double Injection in GaP Electroluminescent Diodes // *Jap. J. Appl. Phys.* - 1970. - Vol. 9, No. 1. - P. 71.
3. *Динс Д., Виньярд Д.* Радиационные эффекты в твердых телах / Под ред. Г. С. Жданова. - М.: ИЛ, 1960. - 204 с.
4. *Немец О.Ф., Литовченко П.Г., Волков В.В. и др.* Глубокие уровни в фосфиде галлия, облученном нейтронами // Докл. АН УССР. Сер. А. - 1990. - Т. 9. - С. 60 - 62.

ТЕМПЕРАТУРНА ЗАВИСИМОСТЬ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ GaP

С. О. Каневский, И. В. Коляденко, В. Я. Опилат, В. П. Тартачник

Разработана усовершенствованная методика исследования вольт-амперных характеристик (ВАХ) с возможностью задания шага дискретизации измерений как по напряжению, так и по току. Выявлено, что форма ВАХ фосфида-галлиевых структур существенно зависит от режима измерений. S-образный характер ВАХ и тонкая структура осцилляций в области высоких токов, обнаруженные при низких температурах в режиме дискретизации по току, могут быть объяснены опустошением и последующим заполнением глубокого уровня, который соответствует ловушкам неосновных носителей тока. На низкотемпературных ВАХ красных светодиодов GaP, облученных нейтронами реактора, измеренных в режиме дискретизации по напряжению, выявлен N-образный участок, существование которого может быть обусловлено присутствием областей разупорядочения.

TEMPERATURE RELATIONS OF VOLT-AMPERE CHARACTERISTICS OF LIGHT EMITTING PATTERNS GaP

S. O. Kanevsky, I. V. Kolyadenko, V. Ja. Opylat, V. P. Tartachnyk

It designed the improved methodology of volt-ampere characteristics (VACH) measurement with the opportunity of the settings of measurings discrete discretization step of both on the electrical voltage and on the current. It is revealed that the shape VACH GaP structures essentially depends on the mode of measurings. S-shaped character VACH and thin structure of oscillation in the field of the high currents, detected at low temperatures in a mode of discrete sampling on the current, can be explained by devastation and the subsequent occupancy of deep level which corresponds to traps of minority carriers of the current. On the low-temperature VACH the red light-emitting diodes GaP, irradiated by reactor neutrons, measured in a mode of discrete sampling on an electrical voltage, is revealed a N-shaped section where existence can be caused by the presence of disordering fields.

Надійшла до редакції 05.07.04,
після доопрацювання – 16.09.04.