УДК 621.363.6

І.С. Литвин
Тернопільський національний економічний університет,
кафедра автоматизованих систем і програмування

АВТОМАТИЗОВАНА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ ФОТОЧУТЛИВИХ СТРУКТУР

© Литвин І.С., 2007

Наведено результати розроблення принципів побудови експериментальної установки для автоматизації досліджень працездатності інтегральних фоточутливих структур.

The development principles of the experimental setting for automation researches of integral photosensitive structures are presented

Розширення функціональних можливостей оптоелектронних перетворювачів для отримання інформації із потрібною точністю, у необхідній кількості та з мінімальними апаратними і програмними затратами може бути досягнуто у випадку застосування багатоелементних перетворювачів оптичного випромінювання, виконаних на основі твердотільної чи плівкової технології інтегральних мікросхем. Найперспективнішими серед них є первинні перетворювачі на основі інтегральних структур метал – нітрид кремнію – окис кремнію – напівпровідникова підклада, що містить n-p перехід (МНОП-n-p структур), в яких розширення набору функціональних перетворень над зображеннями досягнуто за рахунок керування режимами запису, витирання і зчитування інформації як оптичними, так і електричними впливами [1]. Експериментальні дослідження, які підтверджують працездатність первинних оптоелектронних перетворювачів на основі інтегральних фоточутливих структур в процесі виконання теоретично обгрунтованих функцій з оброблення оптичних зображень, можна поділити на два етапи [2]:

- на першому етапі необхідно отримати інформацію про параметри функціональних елементів, які характеризують їх функціональні властивості і визначають їх працездатність;
- на другому етапі необхідно перевірити інформаційні параметри первинних перетворювачів з урахуванням конструктивних особливостей конкретних варіантів їх виконання і даних про параметри функціональних елементів, отриманих на першому етапі досліджень.

Метою роботи є розроблення принципів побудови технічного і методологічного забезпечення для автоматизації експериментальних досліджень працездатності первинних перетворювачів, а також алгоритмів для реалізації методик експериментальних досліджень. Під час реалізації автоматизованої експериментальної установки для дослідження інтегральних фоточутливих структур було враховано такі вихідні вимоги:

1) забезпечити можливість імітування управління режимами запису, витирання і зчитування інформації як оптичними, так і електричними впливами;
2) застосувати програмне управління установкою від ПЕОМ типу IBM PC;
3) дослідити процеси, які відбуваються в інтегральних структурах в реальному часі;
4) застосувати ПЕОМ типу IBM PC для оброблення і реєстрації результатів досліджень працездатності первинних перетворювачів для обробки зображень.

Структурна схема автоматизованої експериментальної установки

Автоматизована експериментальна установка дає змогу порівняно легко імітувати робочі режими функціонування інтегральних фоточутливих структур, оскільки в ній здійснена можливість управління від IBM PC просторово – часовою модуляцією світлового потоку від лазерних джерел випромінювання, який за допомогою волоконно-оптичної системи проектуються на досліджувану структуру. До складу технічного забезпечення входять ПЕОМ типу IBM PC і пристрої відобра-

ження і збереження інформації. Пристрої стикування ПЕОМ з експериментальною установкою (рис. 1) створено з використанням серійно виготовлених пристроїв електричного впливу (генератор імпульсної напруги Г5-63, генератор сигналів низькочастотний ГЗ-112, джерело живлення Б5-31), пристрою індикації спостережень (осцилограф СІ-83), а також спеціально розробленої аппаратури, яка може бути виконана в стандарті КАМАК і містить такі модулі: КК – крейт-контролер з пристроєм стикування ПЕОМ – КАМАК; АЦП-11 – одноканальний 11-розрядний аналого-цифровий перетворювач;

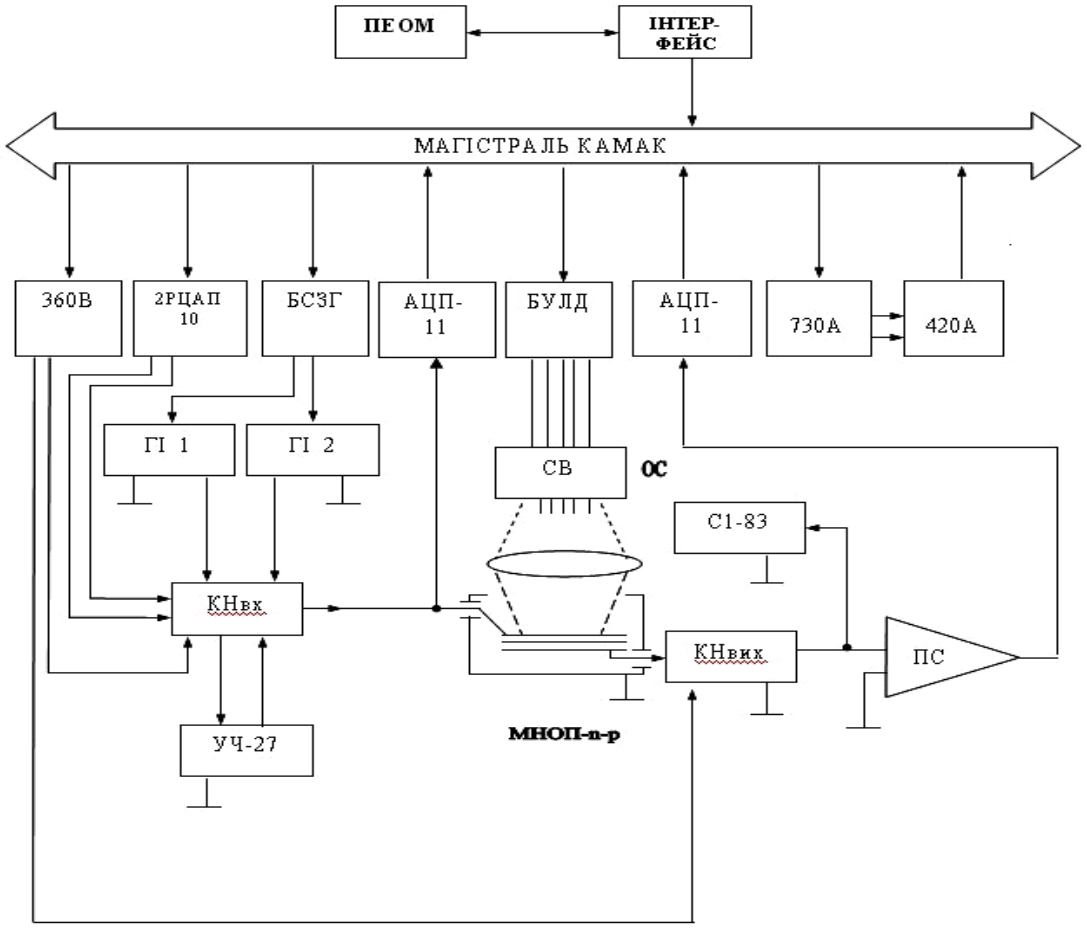

Рис. 1. Структурна схема автоматизованої експериментальної установки для дослідження працездатності первинного перетворювача на основі інтегральних МНОН-n-p структур

360 В – вихідний 16-розрядний регістр;

2 РЦАП-10 – двоканальний цифро-аналоговий перетворювач;

730 А – кварцевий генератор імпульсів, що видаються через декаду в інтервалі частот 1-10^6 Гц;

420 А – двоканальний 24-розрядний двійковий лічильник;

КН і КВ – блоки комутаторів;

БУЛД – блок управління лазерними діодами;

БСЗГ – блок синхронізації запусків генераторів імпульсної напруги. БСЗГ дозволяє програмно управляти запуском генераторів імпульсної напруги.

В БУЛД здійснюється просторово-часова модуляція світлового потоку від лазерних джерел випромінювання, який за допомогою світлодіодів (СВ) і оптичної системи (ОС) проектується на досліджувану інтегральну МНОП- n-p структуру. Для цього варіанта конструктивного виконання блоку є можливість програмного формування "пачки" імпульсів лазерного випромінювання (λ=0,85 мкм, середня потужність P=(10÷15)×10^{-3} Вт) тривалістю 8 або 1 мкс від восьми лазерних

діодів (32 ЛД – 101 В), розміщених на передній панелі модуля. За необхідності кількість лазерних діодів може бути збільшено до 24 без переробки БУЛД, за рахунок доповнення блоків формувачів імпульсів накачування лазерних діодів. Юстування світлодіодів (Ø 200 мкм) відносно лазерних діодів здійснюється в спеціально розроблених юстировочних модулях, які дають змогу досягти виходу випромінювання із світлодіоду порядку 1:3. Вихідні торці свтлодіодів утворюють лінійку з періодом розміщення світлодіодів 400 мкм, зображення якої проектується на досліджувану структуру із зменшенням 1:10 за допомогою телескопічної оптичної системи.

Для юстування оптичної системи лінійка із вихідних торців світлодіодів доповнена ще двома світлодіодами, в які вводиться випромінювання He – Ne лазера (λ = 0,63 мкм). Перехід від одного режиму до іншого відбувається за рахунок ввімкнення інтерфейсних пристроїв (а саме, модулів КАМАК) до досліджуваної структури в блоках комутаторів КН і КВ.

Методи досліджень

Методи досліджень первинних перетворювачів на основі інтегральних структур, в яких досягнуто розширення набору функціональних перетворень над зображеннями, ґрунтуються на використанні теорії процесів утворення і релаксації областей просторового заряду (ОПЗ), що не мають рівноваги, в неоднорідних напівпровідникових структурах і структурах метал – діелектрик – напівпровідникова підклада (МДП-структурах) і методик експериментальних досліджень фото-електричних характеристик МДП-структур з використанням набору тестових елементів.

Під час розроблення алгоритмів методик для перевірки працездатності первинних перетворювачів на основі інтегральних МНОП-n-p структур в процесі виконання теоретично обгрунтованих функцій з оброблення оптичних зображень на першому етапі необхідно отримати інформацію про якомога більший набір фізичних властивостей локальної ділянки (функціонального елемента) первинного перетворювача і про їх просторовий розподіл для виявлення наявності в досліджуваних структурах параметрів, що визначають їх функціональне призначення і для створення базису вихідних даних, що забезпечує певний рівень розуміння і правильної інтерпретації функціонування інтегральних МНОН-n-p структур.

Для забезпечення повноти інформації, необхідної на першому етапі, при перевірці працездатності функціонального елементу на основі інтегральної МНОН-n-p структури, з урахуванням створення адекватної системи технічних засобів в автоматизованій експериментальній установці реалізовано такі методики досліджень:

- визначення поверхневого потенціалу напівпровідника за зміною приповерхневої фото-ЕРС;
- вимірювання залежності фотоструму від напруги, яка прикладається до МНОП-n-p структури;
- дослідження динаміки перерозподілу напруги між шарами МНОП-n-p структури.

Особливу увагу приділено узгодженню часових параметрів вхідних оптичних і електричних впливів, а також вихідних сигналів.

Визначення поверхневого потенціалу напівпровідника за допомогою вимірювання приповерхневої фото-ЕРС

Зовнішнє джерело напруги зміщення з'єднано з досліджуваною структурою (СТР) через опір R (рис. 2, а). Структура освітлюється напівпровідниковим лазером з тривалістю імпульсів світла $t_ф$. Сталу часу зарядки ємності структури підбирають так, щоб виконувалася умова $R \times C_{СТ} >> t_ф$ (припускається, що ємність $C >> C_{СТ}$). Прийняті припущення означають, що заряд $Q_М$ металевого електроду під час дії світлового імпульсу істотно не змінюється: $\Delta Q_М \approx 0$.

Прикладена до структури напруга поділяється між діелектриком і просторовим зарядом у напівпровіднику:

$$V_З = V_і + V_{ОПЗ} \qquad (1)$$

де $V_і$ – падіння напруги на шарі діелектрика, $V_{ОПЗ}$ – падіння напруги на просторовому заряді у напівпровіднику (поверхневий потенціал напівпровідника).

Освітлення структури приводить до перерозподілу просторового заряду у напівпровіднику, росту товщини інверсного шару і до зменшення поверхневого потенціалу напівпровідника. Відповідно, ємність просторового заряду в результаті освітлення збільшується на величину:

$$\Delta C_{ОПЗ}=C_{ОПЗ}\times\Delta V_{ОПЗ} / V_{ОПЗ}, \quad (2)$$

а зміна напруги на контактах структури при освітленні становить величину [3]:

$$V_{ф} = \frac{Q_{м}\cdot\Delta C_{опз}}{C_{опз}\cdot\left(C_{опз}+\Delta C_{опз}\right)} = V_{опз}\cdot\frac{\Delta C_{опз}}{C_{опз}+\Delta C_{опз}} \quad (3)$$

У випадку освітлення структури інтенсивним потоком світла зони напівпровідника практично повністю випрямляються:

і $\varepsilon_{Ф} \approx V_{ОПЗ}$ – сигнал фото-ЕРС пропорційний величині початкового поверхневого згину зон напівпровідника.

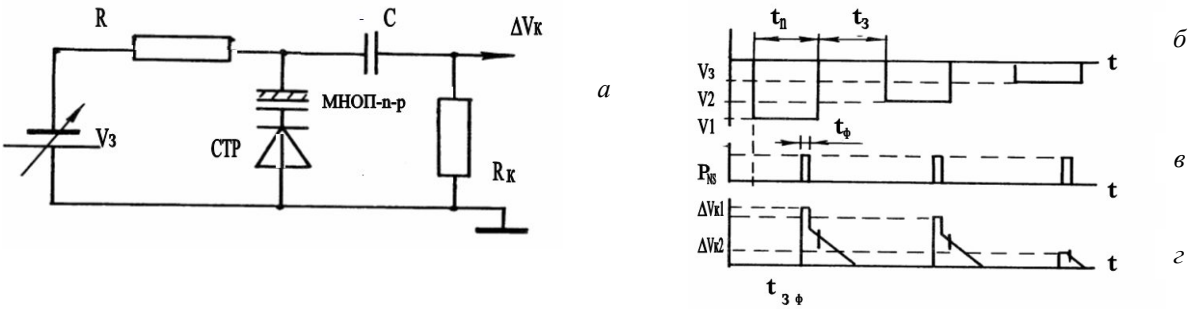

Рис. 2. а – схема вимірювання поверхневого потенціалу напівпровідника;
б – напруга зміщення, що подається на структуру;
в – світлові імпульси, що поступають з напівпровідникових лазерів;
г – сигнали фото-ЕРС на опорі R_K

Вхідними даними є: діапазон зміни напруги зміщення: V1÷V3, часові інтервали: $t_П$, $t_З$, $t_{ЗФ}$, $t_Ф$, номер елемента, що тестується: NS.

Вихідним сигналом є зміна напруги на опорі навантаження: ΔV_K.

Залежність величини фотоструму від напруги,
що прикладається до МНОН-n-p структури

На досліджувану структуру (рис. 3.) подають імпульси напруги V3, що приводить до утворення збідненого шару в напівпровіднику. Постійна часу зарядки структури R×ССТ вибирається набагато меншою від тривалості імпульсів напруги і тривалості світлового імпульсу. Імпульс світла подається із затримкою tЗФ, достатньою для закінчення перехідних процесів, викликаних імпульсом напруги. Носії електричних зарядів, які генеруються світлом, поділяються в полі просторового заряду (час поділу ~ 10-10 [с] < R×ССТ). Внаслідок зміни густини поверхневого заряду неосновних носіїв σSS на границі Si – SiO2 структура підзаряджається зовнішнім джерелом.

У випадку неповної релаксації збідненого шару в напівпровіднику струм підзарядки структури може бути записаний як [3]:

$$J = C_{1}\cdot\frac{dV_{1}}{dt} = C_{1}\cdot\frac{dV_{1}}{d\sigma_{SS}}\cdot\frac{d\sigma_{SS}}{dt} \approx \frac{d\sigma_{SS}}{dt} = \eta\cdot q\cdot P_{o}\cdot\left(1-\frac{l^{-W}}{1+\alpha\cdot L}\right), \quad (4)$$

де η – сталий коефіцієнт для цієї довжини хвилі, $q = 1{,}6\times10^{-19}$ [К] – заряд електрона, P_O – густина потоку світла, α – лінійний коефіцієнт поглинання світла, L – дифузійна довжина для неосновних носіїв струму в напівпровіднику, W – товщина збідненого шару.

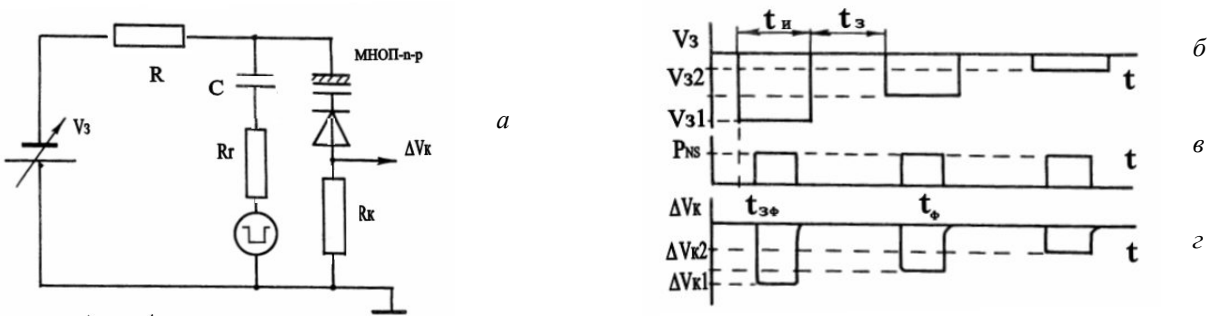

Рис. 3. а – схема вимірювання величини фотоструму від напруги УПЗ;
б – імпульсна напруга, що подається на структуру;
в – світлові імпульси, що надходять із напівпровідникових лазерів;
г – сигнали фотоструму на опорі R_K

Вхідними даними є: діапазон вимірювання імпульсної напруги: $V_З1 \div V_З2$; часові інтервали: $t_П$, $t_З$, $t_{ЗФ}$, $t_Ф$; номер фоточутливого елемента, що тестується: NS.

Вихідним сигналом є зміна напруги на опорі навантаження: $\Delta V_К$.

Дослідження динаміки перерозподілу напруги між шарами МНОП-n-p структури

На електрод (3) подають імпульсну напругу негативної чи позитивної полярності і вона освітлюється напівпровідниковими лазерами, а у вимірювальній схемі (рис. 4, а) послідовно із структурою вмикається контрольна ємність $C_К$. Величину ємності $C_К$ підбирають так, щоб більша частина імпульсної напруги падала на структуру: зміну напруги на діелектрику структури, що цікавить нас, можна записати [3]:

$$\Delta V_i = \frac{1}{C_i} \cdot \int_C^{t_П} I(t)dt \quad , \tag{5}$$

де I(t) – струм зарядки емності діелектрика, $C_К$ – ємність діелектричного шару структури.

Відповідно зміна напруги на контрольній ємності має вигляд:

$$\Delta V_К = \frac{1}{C_К} \cdot \int_C^{t_П} I(t)dt \tag{6}$$

Вхідними даними є: амплітуда імпульсної напруги: $V_З$; полярність імпульсної напруги: POL; часові інтервали: $t_П$, $t_З$, $t_{ЗФ}$, $t_Ф$; номер елемента, що тестується: NS.

Вихідним сигналом є зміна напруги на контрольній ємності: $\Delta V_К$.

$$\Delta V_i = \Delta V_К \cdot \frac{C_К}{C_i} \tag{7}$$

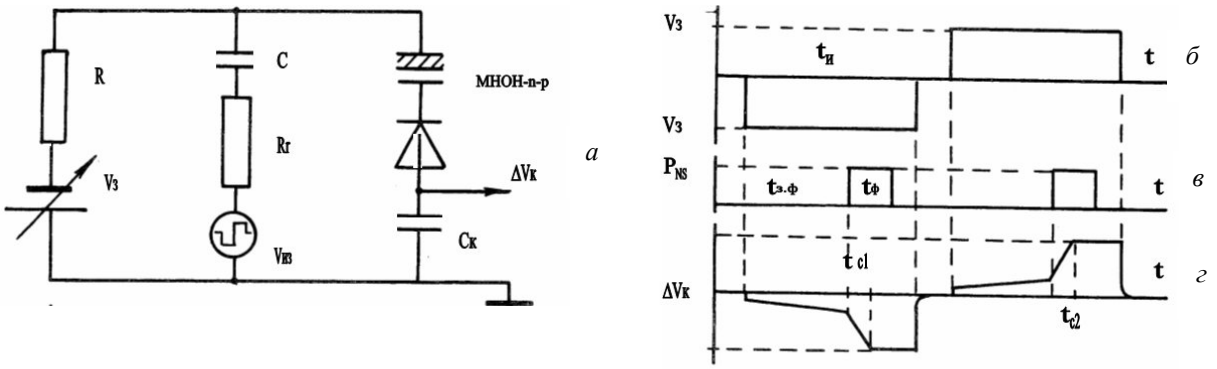

Рис. 4. а – схема вимірювання динаміки перерозподілу напруги між шарами структури;
б – імпульсна напруга, що подається на структуру;
в – світлові імпульси, що поступають із напівпровідникових лазерів;
г – епюри зміни напруги на ємності $C_К$

Висновки

Розроблено принципи побудови системи експериментальних досліджень і алгоритмічного забезпечення для автоматизації експериментальних досліджень працездатності первинних оптичних перетворювачів як на першому етапі дослідження параметрів функціональних елементів, так і на другому етапі при перевірці інформаційних параметрів первинних перетворювачів з урахуванням конструктивних особливостей конкретних варіантів їх виконання і даних про параметри функціональних елементів, отриманих на першому етапі досліджень, а також результати розробки алгоритмів для реалізації методик експериментальних досліджень. До складу апаратного забезпечення розробленої автоматизованої експериментальної установки входять: ПЕОМ типу IBM PC з пристроями відображення і збереження інформації, засоби інтерфейсу, виконані в стандарті КАМАК; серійно виготовлені прилади, блоки управління лазерними діодами і синхронізації запусків генератора імпульсної напруги, і волоконно-оптична система, розроблена спеціально для цієї установки.

1. Литвин І.С. Оптоелектронні перетворювачі для попередньої обробки інформації в системах управління // Вісник Державного університету "Львівська політехніка". – 1998. – №325. – С. 97–100. 2. Аристов В.В. Локальные методы в диагностике микроэлектронных структур. Тезисы 1-й Всесоюзной конференции "Физические и физико-химические основы микроэлектроники", г. Вильнюс, 1987, С. 21–23. 3. Плотников А.Ф., Селезнев В.Н. Управляемые транспаранты и реверсивная запись оптических сигналов // Труды ФИАН, 1981, Том. 126, С. 120–156.

УДК 621.317.73

Є.В. Походило
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації

ВАРІАНТИ ПОБУДОВИ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ "ІМІТАНС-НАПРУГА"

© Походило Є.В., 2007

Наведено узагальнену структуру перетворювача "імітанс–напруга", на основі якої одержано три варіанти побудови активних перетворювачів

The generalized structure of transformer is resulted "immitans –tension" which three variants of construction of active transformers are got on the basis of

1. Вступ

Використання аналогової електроніки в метрології дає можливість краще реалізовувати традиційні методи вимірювань. Особливо спрощується побудова засобів вимірювання пасивних величин, зокрема засобів вимірювання параметрів імітансу двополюсних об'єктів електричної природи безпосередньо та неелектричної з додатковим використанням вимірювальних первинних перетворювачів. Основним вузлом таких засобів є перетворювач "імітанс–напруга", оскільки він в основному визначає метрологічні та експлуатаційні характеристики засобу загалом. Відомі структури активних перетворювачів на основі операційних підсилювачів добре зарекомендували себе у багатьох серійних вимірювальних засобах опору, ємності та індуктивності [1–3]. Переважно теоретичний аналіз таких перетворювачів проводиться кожного зокрема, а не на основі загальної структури. Предметом цієї роботи є узагальнений принцип побудови активних перетворювачів імітансу в напругу (векторних перетворювачів) з врахуванням неінформативного імітансу, що зумовлює похибки при різних режимах вимірювань. Розглянемо можливі варіанти побудови активних векторних перетворювачів на операційних підсилювачах.